

Phys. g.

408

τ

Π 20-21

Phys. g.

Scheffler

408^t
- (2, Suppl. 2

Phys. g. 408-

DAS WESEN

DER

ELEKTRIZITÄT,

DES

GALVANISMUS UND MAGNETISMUS.

Bos

ZWEITES SUPPLEMENT

ZUM ZWEITEN THEILE DER

NATURGESETZE.

VON

DR. HERMANN SCHEFFLER,

MITGLIED DER KAISERLICH RUSSISCHEN SOZIETÄT DER NATURFORSCHER ZU MOSKAU,
KORRESP. MITGLIED DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU PADUA.

MIT 3 FIGURENTAFELN.

ZEHNTE LIEFERUNG DER NATURGESETZE.

LEIPZIG,

VERLAG VON FRIEDRICH FOERSTER.

1882.

W

D

A n k ü n d i g u n g.

Wie sehr das Wesen der Elektrizität noch im Dunkeln liegt, lehrt die in der Elektrotechnischen Zeitschrift vom Jahre 1881 enthaltene „Übersicht der Neuerungen im Gebiete der Elektrizitätslehre“ von J. Kareis. Auf S. 208 ff. werden wohl ein Dutzend verschiedener und einander ausschliessender Ansichten der namhaftesten Gelehrten erwähnt, darunter auch der drastische (freilich auf eine falsche Argumentation gestützte) Ausspruch von Preece, Präsident der Society of Telegraph Engineers, womit derselbe die am meisten rezipirten Theorien, welche von der Materialität der Elektrizität ausgehen, für „offenbare Absurditäten“ erklärt.

Unter diesen Umständen dürfte die Theorie des Verfassers, welche der einfache Ausfluss einer einheitlichen Theorie der Naturkräfte ist und die Erscheinungen der Elektrizität ohne Zwang und Zwischenhypothesen rechnermässig entwickelt, einige Beachtung verdienen.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

1897

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

1897

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

1897

DIE
NATURGESETZE

UND IHR ZUSAMMENHANG MIT DEN

PRINZIPIEN

DER

ABSTRAKTEN WISSENSCHAFTEN.

FÜR

NATURFORSCHER, MATHEMATIKER, LOGIKER, PHILOSOPHEN
UND ALLE MATHEMATISCH GEBILDETEN DENKER.

VON

DR. HERMANN SCHEFFLER,
MITGLIED DER KAISERLICH RUSSISCHEN SOZJETÄT DER NATURFORSCHER ZU MOSKAU,
KORRESP. MITGLIED DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU PADUA.

ZWEITES SUPPLEMENT

ZUM ZWEITEN THEILE DER

NATURGESETZE.

DAS WESEN DER ELEKTRIZITÄT, DES GALVANISMUS UND MAGNETISMUS.

MIT 3 FIGURENTAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON FRIEDRICH FOERSTER.

1882.

DAS WESEN
DER
ELEKTRIZITÄT,
DES
GALVANISMUS UND MAGNETISMUS.

ZWEITES SUPPLEMENT

ZUM ZWEITEN THEILE DER
NATURGESETZE.

VON
DR. HERMANN SCHEFFLER,
MITGLIED DER KAISERLICH RUSSISCHEN SOZIETÄT DER NATURFORSCHER ZU MOSKAU,
KORRESP. MITGLIED DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU PADUA.

MIT 3 FIGURENTAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON FRIEDRICH FOERSTER.
1882.

Dieses Buch kann unbeanstandet in jede fremde Sprache übersetzt werden,
und der Verfasser wird sich freuen, wenn dasselbe in dieser Weise
eine recht grosse Verbreitung findet.



Inhalt.

	Seite
1. Äther und Ponderabeles	1
2. Mechanische und elektrische Kohäsion.....	11
3. Das Ohmsche Gesetz	15
4. Wärmeeffekt	18
5. Lichteffect	21
6. Farbe des elektrischen Lichtes	25
7. Geschmack	26
8. Berichtigung des Ohmschen Gesetzes	27
9. Wesen des elektrischen Prozesses	36
10. Gewitter und Hagelwetter	52
11. Induktion	55
12. Der Induktionsstrahl.....	57
13. Elektrische Induktion	62
14. Galvanische Induktion	65
15. Magnetische Induktion	68
16. Elektrische Sollizitation	76
17. Galvanische Sollizitation.....	78
18. Sollizitation zwischen einem Kreisstrome und einem Stromelemente ...	92
19. Sollizitation zweier Kreisströme	99
20. Magnetische Sollizitation	105
21. Die elektrische, galvanische und magnetische Sollizitation, als eine modifizierte Gravitation	115

Index

1	Introduction
2	Chapter I. The History of the Church
3	Chapter II. The History of the Church
4	Chapter III. The History of the Church
5	Chapter IV. The History of the Church
6	Chapter V. The History of the Church
7	Chapter VI. The History of the Church
8	Chapter VII. The History of the Church
9	Chapter VIII. The History of the Church
10	Chapter IX. The History of the Church
11	Chapter X. The History of the Church
12	Chapter XI. The History of the Church
13	Chapter XII. The History of the Church
14	Chapter XIII. The History of the Church
15	Chapter XIV. The History of the Church
16	Chapter XV. The History of the Church
17	Chapter XVI. The History of the Church
18	Chapter XVII. The History of the Church
19	Chapter XVIII. The History of the Church
20	Chapter XIX. The History of the Church
21	Chapter XX. The History of the Church
22	Chapter XXI. The History of the Church
23	Chapter XXII. The History of the Church
24	Chapter XXIII. The History of the Church
25	Chapter XXIV. The History of the Church
26	Chapter XXV. The History of the Church
27	Chapter XXVI. The History of the Church
28	Chapter XXVII. The History of the Church
29	Chapter XXVIII. The History of the Church
30	Chapter XXIX. The History of the Church
31	Chapter XXX. The History of the Church
32	Chapter XXXI. The History of the Church
33	Chapter XXXII. The History of the Church
34	Chapter XXXIII. The History of the Church
35	Chapter XXXIV. The History of the Church
36	Chapter XXXV. The History of the Church
37	Chapter XXXVI. The History of the Church
38	Chapter XXXVII. The History of the Church
39	Chapter XXXVIII. The History of the Church
40	Chapter XXXIX. The History of the Church
41	Chapter XL. The History of the Church
42	Chapter XLI. The History of the Church
43	Chapter XLII. The History of the Church
44	Chapter XLIII. The History of the Church
45	Chapter XLIV. The History of the Church
46	Chapter XLV. The History of the Church
47	Chapter XLVI. The History of the Church
48	Chapter XLVII. The History of the Church
49	Chapter XLVIII. The History of the Church
50	Chapter XLIX. The History of the Church
51	Chapter L. The History of the Church
52	Chapter LI. The History of the Church
53	Chapter LII. The History of the Church
54	Chapter LIII. The History of the Church
55	Chapter LIV. The History of the Church
56	Chapter LV. The History of the Church
57	Chapter LVI. The History of the Church
58	Chapter LVII. The History of the Church
59	Chapter LVIII. The History of the Church
60	Chapter LIX. The History of the Church
61	Chapter LX. The History of the Church
62	Chapter LXI. The History of the Church
63	Chapter LXII. The History of the Church
64	Chapter LXIII. The History of the Church
65	Chapter LXIV. The History of the Church
66	Chapter LXV. The History of the Church
67	Chapter LXVI. The History of the Church
68	Chapter LXVII. The History of the Church
69	Chapter LXVIII. The History of the Church
70	Chapter LXIX. The History of the Church
71	Chapter LXX. The History of the Church
72	Chapter LXXI. The History of the Church
73	Chapter LXXII. The History of the Church
74	Chapter LXXIII. The History of the Church
75	Chapter LXXIV. The History of the Church
76	Chapter LXXV. The History of the Church
77	Chapter LXXVI. The History of the Church
78	Chapter LXXVII. The History of the Church
79	Chapter LXXVIII. The History of the Church
80	Chapter LXXIX. The History of the Church
81	Chapter LXXX. The History of the Church
82	Chapter LXXXI. The History of the Church
83	Chapter LXXXII. The History of the Church
84	Chapter LXXXIII. The History of the Church
85	Chapter LXXXIV. The History of the Church
86	Chapter LXXXV. The History of the Church
87	Chapter LXXXVI. The History of the Church
88	Chapter LXXXVII. The History of the Church
89	Chapter LXXXVIII. The History of the Church
90	Chapter LXXXIX. The History of the Church
91	Chapter LXXXX. The History of the Church
92	Chapter LXXXXI. The History of the Church
93	Chapter LXXXXII. The History of the Church
94	Chapter LXXXXIII. The History of the Church
95	Chapter LXXXXIV. The History of the Church
96	Chapter LXXXXV. The History of the Church
97	Chapter LXXXXVI. The History of the Church
98	Chapter LXXXXVII. The History of the Church
99	Chapter LXXXXVIII. The History of the Church
100	Chapter LXXXXIX. The History of the Church
101	Chapter LXXXXX. The History of the Church

Im zweiten Theil der „Naturgesetze“ habe ich eine Theorie der Naturkräfte entwickelt, welche alle diese Kräfte zu einem einheitlichen, organischen Ganzen verknüpft. In dieser Theorie finden selbstredend auch die Elektrizität, der Galvanismus und der Magnetismus ihren Platz; in der Ausführung der Grundidee sind jedoch einige Lücken geblieben und es haben sich einige Mängel eingeschlichen, welche ich durch Nachfolgendes zu beseitigen beabsichtige. Des besseren Verständnisses wegen rekapitulire ich zunächst die Grundzüge des Systems der Naturkräfte.

1. Äther und Ponderabeles.

Nach meiner Ansicht ist die ponderabele Materie unmittelbar aus dem Äther hervorgegangen, d. h. sie ist ein eigenthümlicher Konzentrations- oder Kondensationszustand des Äthers. Zur Kennzeichnung dieses Zustandes muss man mit der Charakteristik des Äthers beginnen. Vollkommener Äther erscheint mir als eine homogene, isotrope, absolut stetige Substanz von unendlich geringer Dichtigkeit oder massenlos, gleichwohl als unpressbar, undehnbar, untrennbar, absolut starr, unbewegbar, für andere Äthertheile undurchdringbar. Der Äther ist kein einfacher, sondern ein aus zwei entgegengesetzten Urstoffen, dem positiven und dem negativen Urstoffe, zusammengesetzter Stoff; diese beiden Urstoffe (deren besondere Eigenschaften hier übergangen werden) sind durch kosmetische Affinität unlösbar verbunden. Die Elemente des Äthers sind formlos. Der wirkliche Äther besitzt wie alles Irdische die Eigenschaften eines vollkommenen Äthers nicht in absolutem Maasse, sondern nur mit einem sehr hohen Grade von Annäherung, er ist also, im Vergleich zu ponderabler Materie, nur äusserst wenig pressbar, hat einen ungemein hohen Elastizitätsmodul u. s. w.

Aus diesem Äther entsteht ponderabele Materie durch einen kosmetischen Bildungsprozess, welcher folgendermaassen vorgestellt werden kann. In einem grossen Raume scheidet eine Dichtigkeitskomponente des freien Äthers aus dem Zusammenhange mit diesem allgemeinen Weltäther aus; dieselbe theilt sich in lauter gleich grosse kugelförmige Elemente von sehr kleinem, aber doch endlichem Volum ab; diese Elemente werden nach Fig. 1 in allen Richtungen des Raumes ineinander geschoben, sodass sie in jeder Richtung nach Fig. 2 als eine stetig aufeinander folgende Reihe von Generatrizen ineinander eindringen.

Dieser Konzentrationsprozess ist die Materialisirung des Äthers; das dadurch entstandene Ponderabele unterscheidet sich vom freien Äther durch wesentliche Eigenschaften. Erstens, nimmt die ponderable Materie ein bestimmt begrenztes Volum, einen bestimmten Ort, überhaupt bestimmte räumliche Eigenschaften an; zweitens, erlangt sie einen Anfang in der Zeit, die Fähigkeit, in bestimmten Zuständen zu dauern und in andere Zustände überzugehen, also ein Alter, eine Dauerhaftigkeit, einen chronologischen Werth oder den Werth einer Ereignissreihe; drittens, bekömmt sie eine bestimmte, der konzentrirten Äthermenge entsprechende Masse, sie wird bewegbar und empfängt bewegende Kraft oder Gravitationskraft, überhaupt wird sie eine bestimmte mechanische oder materielle Grösse, welche stets und überall von dem absolut starren Äther durchdrungen wird, sich aber ohne Hinderniss durch denselben bewegt und unfähig ist, den freien Äther abzusperren; viertens, erlangt sie Stoffqualität, d. h. sie stellt auf Grund des Volums und der Lagerung der Generatrizen und der damit verbundenen grösseren oder geringeren Menge, Anordnung und Spannung von positivem und negativem Urstoffe in einem materiellen Elemente einen bestimmten einfachen Stoff (einen chemischen Grundstoff) dar, welcher zu anderen einfachen Stoffen Affinität, d. h. Neigung zur Verbindung oder zur Gemeinschaft zeigt, eine Neigung, welche befriedigt wird, sobald die im Gaszustande gleichen Volumen, dem Gewichte nach aber den chemischen Äquivalenten entsprechenden Mengen zweier einfachen Stoffe in demselben Raume sich durchdringen; fünftens, nimmt sie in Folge des gegenseitigen Eindringens und der Formung der Generatrizen Kohäsion und eine Struktur an, welcher im starren Zustande eine bestimmte Form der Oberfläche oder eine Krystallgestalt entspricht.

Das Element der ponderabelen Materie ist nicht mehr formlos, homogen und isotrop wie das des Äthers, sondern es ist eine aus einer endlichen und bestimmt geformten Generatrix durch stetigen Fortschritt beschriebene Grösse, ein Atom. Eine Durchdringung verschiedener Atome ergiebt ein Molekül. Die Bildung mittelst des stetigen Fortschrittes einer Generatrix macht die Materie in allen irrationalen Verhältnissen oder stetig theilbar und verleiht ihr doch dabei physische Eigenschaften, welche auf der Besonderheit und Endlichkeit der erzeugenden Generatrix beruhen.

Um das Wesen eines Atoms schärfer zu charakterisiren, denke man sich den kugelförmigen Raum einer Generatrix in lauter konzentrische Schalen von geringer Wandstärke zerlegt. In Fig. 3 stelle ab mit dem Centrum c eine solche Schale dar. Zerlegt man diese Schale in lauter parallele horizontale ringförmige Zonen von sehr geringer Höhe h ; so sei $abcd$ eine solche Zone und die mit starken Linien umzogenen Vierecke die Durchschnitte dieser Zone mit der auf der horizontalen Grundfläche ab normal stehenden Vertikalebene. Wir zeichnen jetzt um die Mittelpunkte c' und c'' , welche um die Zonenhöhe h über einander liegen und um eine gegebene Entfernung f in der Richtung ab von einander abstehen, eine zweite und dritte der ersten gleiche konzentrische Schale mit den entsprechenden Zonen $a'b'c'd'$ und $a''b''c''d''$, welche mit der Vertikalebene die stark

ausgezogenen Durchschnitte bilden. Denkt man sich jetzt alle oberen Zonen vertikal herabgerückt, sodass sie alle in den Höhenraum der untersten Zonen fallen; so erhält man die dieser Zone entsprechende Stoffansammlung in einer Schicht des Atoms von der Höhe h längs der Linie ab . Diese Stoffansammlung stellt keine stetige, sondern eine diskrete Vertheilung dar. Nimmt man jetzt aber die Zonenhöhe halb so gross als vorher, gleich $\frac{1}{2} h$, und schaltet zwischen der ersten und zweiten, sowie zwischen der zweiten und dritten Generatrix eine neue ein, nimmt also den horizontalen Abstand aller gleich $\frac{1}{2} f$; so ergeben sich doppelt so viel Zonen und vertikale Querschnitte, von welchen jeder halb so gross ist als früher, weil alle Zonen dieselbe Dicke behalten, deren Gesamtinhalt also unverändert bleibt. Indem man h und f immer kleiner werden lässt, also $\frac{1}{n} h$ und $\frac{1}{n} f$ dafür annimmt, verwandelt sich für ein unendlich grosses n die Reihenfolge der treppenförmig isolirten Querschnitte der vorderen und der hinteren Durchschnitte der Zone mit der Vertikalebene in die stetig zusammenhängende schraffierte Parallelogrammfläche, deren Basis gleich der Dicke der Schale ist und deren äussere schräge Seite für die vorderen Querschnitte die gerade Linie $d d' d''$ und für die hinteren Querschnitte die Linie $e e' e''$ ist. Die Herabrückung dieser unendlichen Menge von Zonen in die Höhe der untersten Zone liefert nun eine absolut stetig gebildete Masse. Man braucht sich also nur vorzustellen, dass sich durch Abscherungsbewegung der Querschnitt $a' d'$ der zweiten Zone in das Parallelogramm $d' d$, der Querschnitt $a'' d''$ der dritten Zone in das Parallelogramm $d'' d'$ u. s. w. verwandele oder dass der ganze Querschnitt der Schale der Generatrix eine Abscherungsbewegung in der vertikalen Ebene erleide, um aus jenen isolirten Körpern ein vollkommen stetiges Ganzes herzustellen.

Die vorstehende Konstruktion erzeugt das lineare Element eines Atoms, welches in der Richtung ab liegt. Lässt man die Figur um die vertikale Axe rotiren; so ergibt sich das in der Horizontalebene liegende flächenhafte Element des Atoms. Eine Umwälzung des Letzteren um die horizontale Axe ab erzeugt das Atom selbst, worunter wir nun diejenige Masse verstehen, welche sich durch die ganze Umwälzung und Umdrehung der Figur ergibt, die aus dem linearen Fortschritte der erzeugenden Generatrix um die Länge ihres Durchmessers hervorgeht, sodass Fig. 4 das angenäherte Bild eines Atoms darstellt. Wenn man die in der Mitte des Atoms liegende Generatrix ihren Kern nennt; so berühren sich in der ponderablen Materie die Kerne der Atome, insofern die Generatrix aus einer einzigen Flächenschale besteht.

Trotz der Kontinuirlichkeit der Stoffvertheilung nehme ich doch an, dass das Atom durch gesonderte Impulse mittelst diskreter Generatrizen geschaffen sei und dass physische Kräfte nur Trennungen nach ganzen Atomen hervorbringen. Eine Generatrix, als ätherische

Substanz, ist ein verschwindend kleiner Bestandtheil eines Atoms, das Atom hat selbst nur eine ungemein kleine Masse; die Generatrix erscheint also als eine unendlich kleine Masse, welche selbst bei diskreter Anordnung eine nahezu stetige Materie darstellen würde.

Eine Generatrix kann aus gesonderten Schalen von verschiedener Dicke mit leeren Zwischenräumen bestehen, wie es Fig. 5 zeigt. Die Herstellung des stetigen Zusammenhanges zwischen den Schalen der aufeinander folgenden Generatrizen erzeugt nothwendig eine gewisse Spannung, welche für alle Theile einundderselben Schale von unendlich kleiner Dicke gleichen Werth hat, indem alle diese Theile zur Herstellung jener Stetigkeit einer gleich starken Abscherungstendenz bedürfen, sodass für alle die Linie $d d' d''$ gleiche Richtung hat. Eine Schale von anderem Radius bedingt aber eine andere Spannung. Denn für zwei benachbarte Generatrizen haben die Mittelpunkte der Schalen von jedem beliebigen Radius doch gleichen Abstand f : die Zonenhöhe h muss aber offenbar für die einzelnen Schalen proportional zu deren Radius r genommen werden, sie ist also für die inneren Schalen kleiner, als für die äusseren und ergiebt für jene eine der Horizontalen sich nähernde Richtung $d d' d''$ oder eine stärkere Abscherung. Hieraus geht hervor, dass die inneren oder kleineren Schalen eine stärkere, die äusseren oder grösseren Schalen aber eine schwächere Spannung in dem Atome erzeugen.

Besteht die Generatrix aus mehreren Schalen oder aus einer Schale von gegebener Dicke, so liegt zwischen der äussersten und innersten Fläche eine Kugelschale, welche ich im ersten Supplemente zum zweiten Theile der Naturgesetze die Sphäre der Generatrix genannt habe. Diese Sphäre bildet den Kern des Atoms; benachbarte Atome berühren sich daher mit ihren Sphären.

Die wesentlichen Eigenschaften, welche der Äther durch die Materialisirung annimmt, die eigentlichen physischen Eigenschaften der Materie sind die folgenden.

Erstens, bedingt eine abwechselnde Dehnung und Zusammenziehung der konzentrischen Kugelschalen der ätherischen Generatrix den Vibrationsprozess, welcher für jede Fortpflanzungsrichtung als ätherische Transversalschwingung auftritt und dem Auge bei der Affektion der Sehnerven als Licht erscheint, dessen Farbe oder Vibrationsgeschwindigkeit von der Grösse und Dicke der erzeugenden Schale abhängt.

Zweitens, ruft eine abwechselnde Annäherung und Entfernung der Mittelpunkte der Generatrizen in den Gehörnerven den Schall hervor.

Drittens, ist die ponderabele Materie pressbar, dehnbar, biegsam und verdrehbar; sie widersteht der Volumänderung mit bestimmter Kraft, indem sie Spannung annimmt, und kehrt beim Erlöschen dieser Spannung, wenn dieselbe keinen zu hohen Grad erreicht, in den natürlichen Zustand zurück, d. h. sie ist elastisch. Bei der Ausdehnung des Volums eines Körpers entfernen sich die Generatrizen voneinander, indem sie sich zugleich proportional vergrössern oder verdünnen; bei der Zusammendrückung des Volums eines Körpers nähern sich die Generatrizen, indem sie sich zugleich proportional verkleinern oder verdichten: die

Verdichtung eines Körpers und die dazu erforderliche Kraft kann hiernach ebensowohl durch die Annäherung der Generatrizen, als auch durch deren Verdichtung gemessen werden. Die Abhängigkeit der Grösse der Generatrizen von ihrer Entfernung bei elastischer Beanspruchung ist ein beachtenswerthes Grundgesetz der Elastizität; in Folge desselben sind Veränderungen des Abstandes und der Dichtigkeit der Generatrizen stets mit einander vergesellschaftet, wiewohl beide prinzipiell ganz verschiedene Erscheinungen bedingen. Die Abstandsvibration der Generatrizen erzeugt, wie eben erwähnt, den Schall, selbst wenn keine Verdichtung und Verdünnung der Generatrizen damit verbunden wäre; die Dichtigkeitsvibration der Generatrizen affizirt dagegen die sensibelen Nerven und erzeugt Gefühle, selbst wenn Abstandsvibrationen nicht damit verbunden wären. Verdichtung in den sensibelen Nerven bedingt das Druckgefühl, Verdünnung das Zuggefühl. Ins Gebiet der molekularen Verdichtung, welche die Überwindung eines Widerstandes in der Richtung der Radien einer Generatrix gegen deren Mittelpunkt hin verlangt, gehört auch die molekulare Drehung oder Rotation dieser Radien um den Mittelpunkt, welche die Überwindung eines Rotationswiderstandes erfordert. Die abwechselnd nach rechts und nach links gerichtete rotatorische Schwingung der Radien der Generatrix oder die Pendelschwingung derselben ist Wärme. Diese Pendelschwingung ist nicht etwa etwas Nebensächliches oder Gleichgültiges für den Wärmeprozess; nein, sie ist das Charakteristische und Wesentliche desselben: nur die Pendelschwingung, keine andere Form der Bewegung ist im Stande, der Wärme die Expansionskraft zu verleihen. Ich glaube Diess in dem ersten Supplemente zum zweiten Theile der Naturgesetze überzeugend dargethan und in diesem Supplemente zugleich alle kalorischen Erscheinungen und zwar nicht bloss die bei schwachen, sondern auch die bei starken Effekten auftretenden, insbesondere die bei hohen Temperaturen, Spannungen und Volumänderungen sich ergebenden Abweichungen vom Mariotteschen, Gay-Lussacschen und Poissonschen Gesetze ohne irgendwelche Zwischenhypothesen mathematisch entwickelt und dadurch den Lapsus emendirt zu haben, welchen ich bei der ersten Anwendung meiner Wärmetheorie in §. 460 begangen hatte.

Der vierte physische Prozess der ponderabelen Materie stützt sich auf die Zusammensetzung des Äthers aus positivem und negativem Urstoffe. Da die Generatrizen der Materie Äthersubstanz sind; so bestehen sie und die Materie selbst aus jenen beiden Urstoffen. In der Zusammenballung zu Materie sind die Urstoffe in geringem Grade trennbar. Durch solche Trennung oder Entbindung werden gleiche Mengen von positivem und negativem Urstoffe frei und erscheinen als positive und negative Elektrizität. Freie Elektrizität ist hiernach ein wirklicher Stoff oder eine Art von Fluidum, wiewohl sich dieselbe ganz anders wie ein Fluidum bewegt und verbreitet. Freie Elektrizität macht überhaupt keine stetige Ortsbewegung, sie fliesst nicht zusammen und nicht auseinander; ihre Verdichtung und Verdünnung an verschiedenen Orten ist ein eigenartiger Prozess, welcher seine Entstehung der Attraktionskraft entgegengesetzter Urstofftheile und der Repulsionskraft gleichnamiger Urstofftheile verdankt (die Ansicht

mancher Physiker, dass es nur attraktive, keine repulsive Naturkräfte gebe, halte ich für unbegründet).

Um diesen Prozess darzulegen, nehmen wir an, dass in einer Generatrix durch eine elektromotorische Kraft die Urstoffe getrennt, also nach entgegengesetzten Seiten getrieben werden. Kein materieller Körper widersteht der elektromotorischen Kraft; in jedem Körper tritt, wenn eine solche Kraft auf ihn wirkt, eine Trennung der Urstoffe in den Generatrizen in höherem oder niederem Grade, d. h. in grösseren oder kleineren Mengen ein. Die Körper unterscheiden sich aber dadurch, dass manche den in einer Generatrix frei gewordenen Urstoffen den Austritt aus dieser Generatrix nicht gestatten, Diess sind die Isolatoren, während andere diesen Austritt gestatten, Diess sind die Leiter; die Letzteren stellen also elektrisch bewegliche, die Ersteren elektrisch unbewegliche Körper dar.

Ein Leiter gestattet also dem nach der einen Seite getriebenen positiven Urstoffe den Austritt aus seiner Generatrix und den Eintritt in die auf dieser Seite benachbarte Generatrix; der austretende positive Urstoff reisst in dieser benachbarten Generatrix den negativen Urstoff an sich und setzt dafür den positiven Urstoff dieser Generatrix in Freiheit. Indem dieser Stoff nach derselben Seite weitergetrieben wird, tritt er in die dritte Generatrix ein, verbindet sich dort mit dem negativen Urstoffe und macht den positiven Urstoff frei. Auf diese Weise erscheint eine positive Urstoffmenge, welche der in der ersten Generatrix frei gemachten gleich, aber doch eine ganz andere ist, an einem von jener entfernten Orte des Leiters, sie scheint sich also fortbewegt zu haben, ist aber doch an der ersten Stelle verblieben, hat sich dort mit negativem Urstoffe verbunden und an einer anderen Stelle eine Entbindung von positivem Urstoffe bewirkt.

Wird in der ersten Generatrix der negative Urstoff nach der einen Seite auf die nächste Generatrix und sodann allmählich ganz aus dem Körper abgeführt; so bleibt nur freier positiver Urstoff in demselben. Dieser wird vermöge der Repulsionskraft nach allen Seiten von der ersten Generatrix aus durch den Leiter fortgetrieben und bewirkt endlich, dass an der Oberfläche desselben eine ungemein dünne Schicht von freiem positivem Urstoffe erscheint, welche eine repulsive Spannung hat und in den konvexen Theilen jener Fläche dichter und gespannter ist, als in den konkaven Theilen.

Dieser Vertheilungsprozess entspringt aus der Befreiung des Urstoffes in einem Leiter durch eine dazu geeignete Kraft. Es giebt aber noch eine andere elektromotorische Kraft, welche die Urstoffe in den Generatrizen nicht bloss trennt und in Freiheit setzt, also nach der Trennung sich selbst überlässt, sondern welche positiven Urstoff aus der einen Generatrix nach der benachbarten hinüberzieht und dafür negativen Urstoff zurückschiebt, bei welcher also Trennung und Verschiebung der Urstoffe, nicht aber Befreiung der Urstoffe stattfindet. Dieser Prozess setzt die Möglichkeit der Verschiebung des positiven Urstoffes nach der einen Seite und des negativen Urstoffes nach der anderen Seite in allen benachbarten Generatrizen, also eine geschlossene leitende Kette voraus; derselbe heisst galvanischer Strom, ist

aber kein eigentlicher Strom, sondern eine durch den elektromotorischen Druck an einer Stelle der Leitung veranlasster und in allen Punkten der ganzen Leitung nahezu gleichzeitig sich vollziehender Stellentausch zwischen den Urstoffen der benachbarten Generatrizen. Das Trennen und Verbinden der Urstoffe in den benachbarten Generatrizen bildet Impulse von sehr geringer Dauer, der galvanische Strom zerlegt sich daher in eine längs der ganzen Leitung stattfindende Pulsation, bei welcher positiver Urstoff allenthalben nach der einen und negativer Urstoff nach der anderen Seite immer bis zu einer benachbarten Generatrix wandert.

Ein Strom, in welchem der positive Urstoff voranschreitet, ist ein positiver Strom, und ein Strom, in welchem der negative Urstoff voranschreitet, ist ein negativer Strom; das Ende eines Stückes der Leitung, an welchem positiver Urstoff austritt, ist ein positiver Pol, das andere Ende, an welchem negativer Urstoff austritt, ist ein negativer Pol.

Wenn sich die Urstoffe eines Körpers unter dem Drucke einer elektromotorischen Kraft gegen einander verschieben, ohne sich zu trennen und das durch diese Verschiebung gestörte Gleichgewicht nicht anderweit wieder hergestellt ist, so befindet sich der Körper in einem galvanischen Spannungszustande, welcher besondere Eigenschaften zeigt. Wir nennen einen in diesem Zustande befindlichen Körper ein Galvanid.

Die ponderabelen chemischen Grundstoffe verhalten sich, vermöge ihrer verwandtschaftlichen Affinität ähnlich wie entgegengesetzte Urstoffe, sie bilden eine elektrische Spannungsweise.

In den Molekülen einer chemischen Verbindung zweier Grundstoffe können die Stoffe durch chemische Kräfte getrennt, auch auf die Nachbarmoleküle verschoben werden. Dieser Prozess ist der Voltasche Strom. Allerdings setzt derselbe, um recht wirksam zu sein, den flüssigen Zustand voraus. Der Voltasche Strom, indem er sich im Speichel des Mundes zwischen Zunge und Gaumen vollzieht, erregt in den gustischen Nerven, welche im menschlichen Körper eine geschlossene Kette bilden, den Geschmack.

Ausser der translatorischen Verschiebung der Urstoffe kommt noch die auf Verdrehung der Urstoffe beruhende rotatorische Verschiebung in Betracht. Denkt man sich durch geeignete Kräfte den positiven Urstoff einer Generatrix nach der einen Seite, den negativen Urstoff aber nach der anderen Seite um den Mittelpunkt dieser Generatrix gedreht; so vollzieht jeder Urstoff in dieser Generatrix eine stetige Bewegung: betrachtet man aber die längs der Drehungsaxe aufeinander folgenden Generatrizen; so pflanzt sich die in der ersten ausgeübte Verdrehung über die folgenden fort, der nach der einen Seite sich drehende positive Urstoff der ersten Generatrix übt eine Anziehung auf den negativen Urstoff der zweiten Generatrix und eine Abstossung auf den positiven Urstoff dieser Generatrix aus, bewirkt also hier ebenfalls eine Trennung der Urstoffe, indem er den negativen Urstoff rotatorisch anzieht und den positiven rotatorisch abstösst. Die auf die erste Generatrix ausgeübte Verdrehung der Urstoffe pflanzt sich also längs der Drehungsaxe nach Schraubenlinien, welche auf Zylindern von sehr kleinen Radien liegen, in Pulsationen fort, wobei der positive Urstoff nach der einen

und der negative Urstoff nach der anderen Seite torquirt wird. Dieser Prozess ist magnetischer Strom; der Körper, in welchem er vorgeht, ist aber noch kein Magnet.

Magnetismus ist kein Bewegungs-, sondern ein Spannungszustand. Vergegenwärtigt man sich nämlich eine Kraft, welche die Urstoffe in allen Generatrizen bezeichnetermaassen nach entgegengesetzten Seiten zu verdrehen strebt, welche aber in Folge eines Widerstandes in diesen Generatrizen keine eigentliche Trennung, sondern nur eine relative Verdrehung der Urstoffe um einen von der Drehungskraft abhängigen Winkel unter Erzeugung einer Torsionsspannung zu Stande bringt; so verwandelt diese Kraft den Körper in einen Magneten. Jenachdem bei der Verdrehung in der ersten Generatrix, von aussen gesehen, der positive Urstoff von links nach rechts, oder von rechts nach links gedreht wird, bildet sich daselbst ein Nord- oder ein Südpol.

Fasst man eine in der magnetischen Axe liegende Faser, deren Querschnitt eine Generatrix der Materie ist, ins Auge; so findet in jedem Querschnitte Verdrehung der diesem Querschnitte angehörigen Urstoffe ineinander, ausserdem aber auch eine Verdrehung der je zwei benachbarten Querschnitten angehörigen entgegengesetzten Urstoffe übereinander statt. Die gleichnamigen Urstoffe zweier benachbarten Querschnitte brauchen hierbei keine Verdrehung gegeneinander zu erleiden, vielmehr können die Radian jedes einzelnen Urstoffes in allen längs der magnetischen Axe aufeinander folgenden Querschnitten, welche vor der Verdrehung eine Ebene bildeten, auch nach der Verdrehung eine solche bilden, d. h. die Verdrehung der entgegengesetzten Urstoffe in einem Querschnitte ist zugleich mit einer Verdrehung der entgegengesetzten Urstoffe in je zwei benachbarten Querschnitten, nicht aber nothwendig mit einer Torsion jedes gleichnamigen Urstoffes begleitet, welche Letztere wir auch gar nicht annehmen. Die magnetische Torsion ist hiernach von der mechanischen wesentlich verschieden.

Man könnte die Meinung hegen, dass die Verdrehung der Urstoffe in jeder Generatrix um eine Axe eine Verschiebung der Schwerpunkte der beiden Urstoffe in der Richtung der Drehungsaxe, also gegen die Pole der Generatrix zur Folge habe und zwar dergestalt, dass derjenige Urstoff nach dem vorderen Pole gezogen werde, welcher von links nach rechts gedreht ist, während der von rechts nach links gedrehte Urstoff nach dem hinteren Pole getrieben werde, indem dann in jedem magnetischen Längenelemente positiver Urstoff auf der Nordpolfläche, negativer Urstoff aber auf der Südpolfläche angehäuft würde. Dieser Hypothese, welche wir wiederholt prüfen werden, steht zunächst die Thatsache entgegen, dass es für die Polarität eines Elektromagneten ganz gleichgültig ist, ob der ihn erzeugende galvanische Strom eine rechts oder eine links gewundene Schraubenlinie bildet und dass es nur darauf ankommt, dass der Strom den Magneten in einer bestimmten Drehungsrichtung umkreist.

Die Magnetisirung kann in einer einzigen Generatrix beginnen und sich von hier aus sowohl in der Richtung der Drehungsaxe, als auch seitwärts auf die benachbarten Moleküle fortpflanzen. Sobald der Magnetismus den ganzen Körper durchdrungen hat, werden, wenn es

sich um reinen Magnetismus handelt, alle Generatrizen ihre ursprünglichen Örter beibehalten haben und es werden in einer jeden die ihr angehörigen Urstoffe verdreht sein, wie es in Figur 6 angedeutet ist, sodass ein Radius ca des positiven Urstoffes einer Generatrix (Figur 7) mit dem zusammengehörigen Radius cb des negativen Urstoffes einen Winkel acb bildet.

Im Allgemeinen wird sich translatorische Verschiebung mit rotatorischer Verdrehung kombiniren, d. h. die Urstoffe der Generatrizen werden sich nach Figur 8 in geschlossenen Linien ef um gemeinschaftliche Rotationsaxen herum verschieben und dabei verdrehen. Eine solche Bewegung ist, generell, elektro-magnetischer Strom und der daraus hervorgehende Spannungszustand liefert, generell, einen Elektromagneten. Übrigens ist die translatorische Verschiebung längs der Kreisbahn ef in Figur 8 von der damit verknüpften rotatorischen Verdrehung der Urstoffe in den Generatrizen unabhängig, d. h. die eine kann stärker, sie kann aber auch schwächer sein, als die andere. Haben bei der erzeugten Spannung in einer Generatrix die zusammengehörigen Radian des positiven und negativen Urstoffes gleiche Richtung; so sind die Urstoffe zwar nach entgegengesetzten Seiten in der Kreisbahn rotirt, sie sind jedoch nicht gegen einander verdreht, der Körper bildet also keinen Magneten, sondern befindet sich in einem galvanischen Zustande mit Zirkularspannung. Bilden die gedachten Radian einen positiven Winkel miteinander, nämlich einen Winkel, zufolge dessen ein jeder Urstoff in der Generatrix eine stärkere Rotation vollführt hat, als in der Kreisbahn ef , also stärker verdreht, als zirkular verschoben ist; so bildet der Körper einen eigentlichen oder positiven Magneten. Bilden diese Radian einen negativen Winkel, sind die Urstoffe also schwächer verdreht, als zirkular verschoben (vielleicht gar nicht verdreht); so bildet der Körper einen negativen Magneten oder einen Diamagneten.

Der fünfte physische Prozess besteht in der periodischen Veränderung der Form der Generatrizen, in Folge deren z. B. eine kugelförmige Generatrix in der Richtung eines Durchmessers sich abwechselnd verlängert und verkürzt, während sie in den normal darauf stehenden Durchmessern die umgekehrte Formveränderung erleidet. Einen solchen Prozess habe ich als den physiometrischen Prozess bezeichnet. Die Verwandlung des Aggregatzustandes ist ebenfalls mit einer in den „Naturgesetzen“, besonders im ersten Supplemente zum zweiten Theile beschriebenen physiometrischen Veränderung der Generatrizen begleitet. Wenn sich der bei der Kondensation der Gase, also der bei dem Übergange vom gasförmigen Zustande in den flüssigen Zustand stattfindende Aggregationsprozess in der Feuchtigkeit der Nasenschleimhaut vollzieht, werden die Nerven derselben in den Affektionszustand des Geruches versetzt.

Es sei noch erwähnt, dass die Generatrix der Materie im gasförmigen Zustande eine Vollkugel, im flüssigen Zustande eine Kugelschale von relativ starker Dicke und im starren Zustande eine feine Kugelfläche oder dass sie, allgemeiner, im ersten Aggregatzustande eine Ineinanderlegung mehrerer Vollkugeln, im zweiten Zustande einen

Inbegriff von Schalen verschiedener Dicke mit beliebigen leeren Zwischenräumen, im dritten Zustande aber einen Inbegriff von getrennten feinen Kugelschalen darstellt. Im gasförmigen und flüssigen Zustande ist die Generatrix kugelförmig, im starren Zustande dagegen ellipsoidisch.

Die fünf physischen Grundprozesse machen sich dem Menschen durch fünf Sinneseindrücke, nämlich durch Gesichts-, Gehör-, Gefühls-, Geschmacks- und Gerucherscheinungen erkennbar.

Die vorstehenden Definitionen sind keine willkürlichen Phantasiebilder, sondern die speziellen Fälle der rationellen Zergliederung eines einfachen Natursystems. Dieselben liefern durch mathematische Entwicklung ihrer Konsequenzen, wie ich in den „Naturgesetzen“ gezeigt habe, die Erklärung der Naturerscheinungen nicht nur in qualitativer, sondern auch in quantitativer Beziehung, wozu sich die gängigen Theorien unzulänglich erweisen, da sie in den wichtigsten Dingen nur empirische Formeln darstellen und eines prinzipiellen Zusammenhanges entbehren, der durch die Einstreuung zahlreicher Hülfs-hypothesen für die verschiedenen Erscheinungen nur dem Namen nach besteht. Wie bringt man nach den rezipirten Theorien wohl Galvanismus mit Wärme und Licht, wie Galvanismus mit mechanischer Festigkeit, Magnetismus mit Torsion in Kausalzusammenhang? wie kann der spiralförmige Strom in dem umsponnenen Eisen denselben Zustand wie die Bestreichung mit einem Magneten hervorrufen? wie konstruirt sich die elektrische, die galvanische, die magnetische Induktion und Sollicitation, d. h. wie entsteht sie, wie pflanzt sie sich durch den Äther fort, wie ergreift sie das Ponderabele? Ist es überhaupt denkbar, dass eine Theorie des galvanischen Stromes dieselben Effekte liefern könne, gleichviel, ob man sich den Strom als die einseitige Bewegung eines einzelnen Mediums, oder als die zweiseitige Bewegung zweier Medien, oder gar nicht als die Bewegung von Medien, sondern als einen Vibrationszustand vorstellt? Können überhaupt ponderable Medien durch ihren Bewegungs- oder Vibrationszustand die eigenthümlichen Wirkungen der Induktion und Sollicitation hervorbringen, und wenn sie es vermöge ihrer ponderabilischen Eigenschaften nicht können, welcher deus ex machina zaubert aus dem gegebenen Ponderabelen auf einmal die mit ihm ganz heterogenen Imponderabilien hervor und wie vermögen dieselben, da sie doch imponderabel sind, auf das Ponderabele zu wirken? welche Grundeigenschaften haben denn diese Schatten, da sie nicht die Eigenschaften des Ponderabelen haben? oder kömmt es auf ihre Grundeigenschaften gar nicht an, kann man mit ihnen rechnen, ohne sie zu kennen? Können denkbarerweise die Formeln, welche die Effekte unbekannter Kräfte darstellen, etwas Anderes sein, als empirische Formeln, rationelle Zusammenfassungen gleichartiger Beobachtungsreihen?

Diese und tausend andere Interpellationen kann man an die heutige Naturwissenschaft richten, ohne eine befriedigende Antwort zu erhalten. Ich glaube daher, dass eine Theorie der Naturgesetze, welche, wenn auch nicht in allen Details, so doch im Grossen und Ganzen die Hauptfragen, die man an sie zu stellen hat, zu beantworten fähig ist, wohl einer eingehenden Prüfung werth wäre. Namentlich möchte Diess von

der Theorie der elektrischen Prozesse gelten, welche des Wunderbaren so Vieles in ihrem Schoosse bergen und welchen die nachfolgenden Zeilen vorzugsweise gewidmet sind.

2. Mechanische und elektrische Kohäsion.

Es ist durchaus nothwendig, bei der mechanischen Kohäsion zwischen dem Widerstande, welchen eine Generatrix der Vergrösserung oder Verkleinerung ihres Volums entgegensetzt, und demjenigen Widerstande, welchen sie der Entfernung von der Nachbargeneratrix oder der Verschiebung gegen die Letztere entgegensetzt, zu unterscheiden. Den ersten Widerstand haben wir innere Kohäsion, den zweiten äussere Kohäsion genannt. Wenn E' den Model der inneren und E'' den der äusseren Elastizität bezeichnet; so ist der bei mechanischer Expansion oder Kompression in Betracht kommende Model E der Gesamtelastizität die Summe jener Beiden, man hat also $E = E' + E''$. (Vergl. das erste Supplement zum zweiten Theile S. 28, S. 65 und 167). Wenn sich in Fig. 9 die um a und b beschriebenen Generatrizen vergrössern, entfernen sich in demselben Verhältnisse auch ihre Mittelpunkte und, umgekehrt, wenn sich diese Mittelpunkte entfernen, vergrössern sich die Generatrizen, sodass die sich gegenseitig durchdringenden Massen beider Generatrizen und alle sonstigen Verhältnisse derselben ungeändert bleiben (solange es sich um eine normale Elastizitätsbewegung handelt).

Mechanische Inanspruchnahme wirkt unmittelbar auf die äussere Kohäsion und zieht die innere in Mitleidenschaft, eine äussere Zugkraft sucht die Generatrizen auseinander zu reissen und bringt dadurch auch eine Vergrösserung derselben hervor; kalorische Inanspruchnahme dagegen wirkt unmittelbar auf die innere Kohäsion und zieht die äussere in Mitleidenschaft, Wärme sucht die Generatrizen zu vergrössern. Gesteigerte mechanische Spannung bringt daher die Trennung der Generatrizen oder den Bruch, gesteigerte Wärme aber die physiometrische Umgestaltung der Generatrizen oder die Schmelzung, resp. Vergasung hervor.

Die elastische Beschaffenheit eines Körpers ist durch drei Grössen bestimmt: den Elastizitätsmodel E , die Festigkeit F und die Elastizitätsgrenze G . Der erste bezeichnet die Kraft pro Flächeneinheit, welche das Volum des Körpers auf das Doppelte ausdehnen würde, wenn die Kohäsion fortwährend unversehrt bliebe; die zweite bezeichnet die Kraft, welche den Zusammenhang der Generatrizen trennt oder den Bruch herbeiführt; die dritte bezeichnet die kleinste Kraft, welche bleibende Volumveränderungen hinterlässt. Der Elastizitätsmodel E gilt für die Kompression so gut wie für die Ausdehnung; die Festigkeit F und die Elastizitätsgrenze können jedoch für die Kompression andere Werthe haben, als für die Ausdehnung.

Für jeden Körper haben die drei Grössen E , F , G endliche Werthe; jenachdem aber die eine oder andere Grösse einen ungemein kleinen, oder einen mässigen, oder einen ungemein grossen Werth annimmt, vertheilen sich die Körper in Klassen, deren ideelle Repräsentanten sich folgendermaassen charakterisiren. Ist die Festigkeit $F = 0$, so

hat der Körper keine Kohäsion; ist aber $F = \infty$, so ist er unzerreissbar. Ist die Elastizitätsgrenze $G = 0$, so ist der Körper vollkommen unelastisch; ist aber $G = \infty$, so ist er vollkommen elastisch. Ist der Elastizitätsmodul $E = 0$, so ist der Körper widerstandslos dehnbar; ist aber $E = \infty$, so ist er undehnbar. Für einen starren Körper sind jedenfalls E und $F > 0$, wogegen G für den vollkommen unelastischen starren Körper $= 0$, für den vollkommen elastischen aber $= \infty$ ist.

Zur vollständigen Charakteristik der Körper genügen die drei Grössen E, F, G , welche die Gesamtkohäsion darstellen, nicht; es müssen auch die Grössen E', F', G' und E'', F'', G'' für die innere und äussere Kohäsion berücksichtigt werden. Für einen starren Körper haben E' und E'' Werthe > 0 ; für einen vollkommen flüssigen Körper ist $E' = 0$, während E'' jeden beliebigen Werth haben kann, für einen vollkommen gasförmigen Körper ist $E' = 0$ und $E'' = 0$. Für unvollkommene Flüssigkeiten hat E'' und F'' kleine Werthe und für unvollkommene Gase haben E', F' und E'', F'' kleine Werthe.

Solange die elastische Veränderung unterhalb der Elastizitätsgrenze bleibt, findet keine Trennung der kohärirenden Generatrizen, sondern nur Dehnung und dehnende Verschiebung statt, bei Überschreitung jener Grenze erfolgt aber partielle Trennung der sich durchdringenden Theile der Generatrizen unter Überwindung des der Trennung sich widersetzenden Widerstandes, welchen wir im ersten Supplemente zum zweiten Theile S. 167 ff. als innere Reibung behandelt haben. Diese auf Trennung beruhende gleitende Verschiebung ist der Grund der unvollkommenen Elastizität. Von der inneren Reibung unterscheidet sich die äussere Reibung, welche ein Gleiten der normal zur Verschiebungsrichtung nebeneinander liegenden Generatrizen voraussetzt und in abwechselnden Trennungen und Wiedervereinigungen besteht, sodass fortgesetzte Reibung keinen Bruch, sondern nur Verschiebung herbeiführt.

Die Widerstände gegen Abscherung und Torsion setzen sich aus denen gegen Ausdehnung und Kompression nach bestimmten Prinzipien zusammen. Die innere Abscherung kann auf eine gemeinschaftliche Dehnung und Pressung, die äussere Abscherung aber auf eine gemeinschaftliche Auseinander- und Ineinanderschiebung zurückgeführt werden, wobei auch noch innere und äussere Reibung wirksam werden kann. Wenn die Elastizitätsgrenze gegen Abscherung und namentlich, wenn die Abscherungsfestigkeit überschritten wird, äussert sich ein Reibungswiderstand, welcher, soweit er der Dehnung angehört, innere Reibung, und soweit er der Verschiebung angehört, äussere Reibung ist. Bei der Torsion ist ebenfalls zwischen der inneren und der äusseren Torsion zu unterscheiden und es kann dabei innere und äussere Reibung in Betracht kommen.

Das Verhalten der Urstoffe in den Generatrizen ist ganz analogen Gesetzen unterworfen, die Körper klassifiziren sich daher in ihrem Verhalten gegen elektromotorische und magnetische Kräfte nach ähnlichen Gesichtspunkten. Der positive und negative Urstoff einundderselben Generatrix sind durch kosmetische Affinität miteinander verbunden; kleine Mengen davon lassen sich durch elektromotorische Kräfte, welche jener Affinität entgegenwirken, trennen, setzen aber dieser Trennung

einen Widerstand entgegen, welcher die innere elektrische Kohäsion ausmacht. Der positive Urstoff dieser Generatrix haftet aber auch an dem negativen Urstoffe der benachbarten, in jene eindringenden Generatrix, ebenso haftet der negative Urstoff der ersten an dem positiven der zweiten. Die beiden ineinander dringenden Generatrizen haften also vermöge der Attraktion ihrer entgegengesetzten Urstoffe aneinander; vermöge der Repulsion ihrer gleichnamigen Urstoffe stossen sie sich zwar gegenseitig ab: allein, da Attraktion Annäherung und Repulsion Entfernung hervorzubringen strebt und in der bei der Gravitation in §. 318 erläuterten Weise auch wirklich hervorbringt; so überwiegt die Attraktion und es findet zwischen den ineinander eindringenden Generatrizen eine elektrische Kohäsion statt, welche als die äussere auftritt.

Sowohl für die innere, als auch für die äussere elektrische Kohäsion kommt ein Elastizitätsmodel e' , e'' , eine Festigkeit f' , f'' und eine Elastizitätsgrenze g' , g'' in Betracht, aus welchen sich für die elektrische Gesamtelastizität die Grössen e , f , g zusammensetzen. Da die Urstoffe der einen Generatrix nicht nur auf die Urstoffe einer in dieselbe eindringenden, sondern auch auf die Urstoffe einer seitwärts liegenden Generatrix wirken; so kommt sowohl eine innere, als auch eine äussere elektrische Reibung in Betracht. Sodann ist die elektrische Abscherungskohäsion nach Model, Festigkeit, Elastizitätsgrenze und Reibung und endlich die elektrische Torsion nach Model, Festigkeit, Elastizitätsgrenze und Reibung in Erwägung zu ziehen.

Jeder Körper besitzt alle diese verschiedenen Kohäsionskräfte und Festigkeiten in endlichem Grade; sehr kleine und sehr grosse Werthe derselben bilden also nur ideelle Typen für die Klassifikation der Körper. Die Klassen gestalten sich sehr mannichfaltig, wenn man alle möglichen Kombinationen von grossen und kleinen Werthen berücksichtigen will: wir beschränken uns auf folgende.

Ein Körper von sehr grosser elektrischer Festigkeit wie Holz, Edelsteine, Luft u. a. gestattet keine oder nur eine sehr schwache elektrische Erregung oder Trennung der Urstoffe. Ein Körper von geringer elektrischer Festigkeit wie Glas, Bernstein, Metalle gestattet eine leichte Zersetzung, ist aber darum noch kein Leiter. Ein Körper mit sehr grosser elektrischer Verschiebungsfestigkeit wie Glas, Bernstein, Holz, Edelstein, ist ein Isolator, ein Körper mit kleiner Verschiebungsfestigkeit, wie Metalle, ist ein Leiter. Verschiebung der Urstoffe kann nicht ohne Trennung stattfinden, alle Leiter lassen sich daher auch elektrisch erregen. Ein Leiter mit sehr kleiner Festigkeit ist ein guter Leiter, wie Silber und Kupfer. Ein Leiter mit kleinem Elastizitätsmodel und hoher Elastizitätsgrenze bedingt eine starke Verschiebung, ehe Trennung erfolgt, kehrt aber beim Erlöschen der elektromotorischen Kraft wieder in den natürlichen Zustand zurück; ein solcher ist das weiche Eisen. Ein Leiter mit kleinem Elastizitätsmodel und niedriger Elastizitätsgrenze bedingt keine so starke Verschiebung bis zur Trennung, kehrt aber beim Erlöschen der elektromotorischen Kraft nicht wieder in den natürlichen Zustand zurück, die verschobenen Urstoffe verharren vielmehr in einem Zustande der Verschiebung unter Spannung; ein solcher Körper

ist der Stahl. Ein Leiter mit grosser Festigkeit (schlechter Leiter), grossem Elastizitätsmodel und hoher Elastizitätsgrenze trennt sich schwer, aber doch schon bei geringer Verschiebung, wie das Wismuth.

Starke innere Kohäsion oder starker Widerstand der Urstoffe gegen die Trennung bedingt auch eine starke Tendenz zur Wiedervereinigung der getrennten Urstoffe. Wenn also in einem Körper die äussere elektrische Kohäsion geringer ist als die innere; so werden sich die Urstoffe leichter verschieben, als trennen lassen. Wiewohl nun Verschiebung ohne Trennung nicht erfolgt; so werden doch in einem solchen Körper die unter relativ starker Verschiebungstendenz sich trennenden Stoffe auch begierig sich in der Nachbargeneratrix wieder vereinigen, es werden also nicht leicht Urstofftheile völlig frei werden, sondern nur in galvanischem Strome sich bewegen. Die Metalle haben diese Eigenschaft. Da kein Körper vollkommen elastisch ist, also jeder Körper eine Elastizitätsgrenze hat; so bleibt in jedem Drathe, durch welchen ein genügend starker galvanischer Strom gegangen ist, eine galvanische Spannung zurück. Bei Silber- und Kupferdrath ist dieselbe geringfügig und für schwache Ströme null; bei Eisendrath ist dieselbe ebenfalls gering, bei Stahldrath ist sie grösser.

Im Allgemeinen wird der Elastizitätsmodel, die Festigkeit und die Elastizitätsgrenze für geradlinige Trennung und Verschiebung mit denen für rotatorische Trennung und Verschiebung oder für Torsion der Urstoffe in einer direkten Beziehung stehen. Die Leiter mit kleinem Elastizitätsmodel und hoher Elastizitätsgrenze, wie Eisen, liefern daher temporäre Magneten, die Leiter mit kleinem Elastizitätsmodel und niedriger Elastizitätsgrenze aber permanente Magneten. In einem schlechten Leiter und einem Isolator, insofern er nicht ein absoluter Isolator ist, ist entweder die Elastizitätsgrenze für fortschreitende Verschiebung, oder die für rotatorische Verschiebung die höhere; im ersteren Falle liefert er einen Magneten, wie Silizium, Kalium, Natrium, Aluminium, Oxyde und Salze von Eisen, Nickel, Kobalt, Sauerstoff, Luft, im letzteren Falle dagegen einen Diamagneten, wie Wismuth, Antimon, Schwefel, Wasser, Eis, Schwefelsäure, Flintglas, Holz, Blutlaugensalz, Oxyde und Salze von Platin, Blei u. s. w. Die guten Leiter, wie Silber und Kupfer gestatten wegen der geringen Festigkeit keine starken Spannungen, sie liefern daher weder kräftige Magneten, noch Diamagneten: jenachdem jedoch ihre Elastizitätsgrenze für fortschreitende Verschiebung höher oder tiefer liegt, als die für rotatorische Verschiebung, werden sie schwachen Magnetismus, wie Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom, Platin, oder schwachen Diamagnetismus, wie Antimon, Zink, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold zeigen. Da der Diamagnetismus immer eine erhebliche Festigkeit voraussetzt, welcher in der Regel auch eine hohe Elastizitätsgrenze für geradlinige und für rotatorische Verschiebung entspricht; so wird derselbe im Allgemeinen als eine schwache und temporäre Kraft auftreten, wiewohl Steigerung durch starke elektromotorische Kräfte und Permanenz durch Erniedrigung der Elastizitätsgrenzen nicht ausgeschlossen ist.

Dass in einem krystallisirten Körper das Verhältniss der eben erwähnten beiden elektrischen Kohäsionen mit der Richtungslinie

variiren kann, dass sich also ein Körper in gewissen Richtungen wie ein magnetisches, in anderen Richtungen dagegen wie ein diamagnetisches Medium verhalten kann, dass aber die magnetischen Axen mit den krystallographischen Axen in einer gesetzlichen Beziehung stehen müssen, leuchtet ein. Ein Krystall wird übrigens nicht bloss für den Magnetismus, sondern auch für den Galvanismus in den verschiedenen Richtungen verschiedene Kohäsion zeigen.

3. Das Ohmsche Gesetz.

Das Ohmsche Gesetz, obwohl es einen Fundamendalsatz für die elektromotorische Theorie bildet, ist dennoch ein empirisches Gesetz. Allerdings hat Ohm dieses Gesetz durch die in allen späteren Lehrbüchern der Physik wiederholten Abstraktionen zu begründen gesucht: allein, diese Deduktion lässt deutlich erkennen, dass die Abstraktionen nur Erläuterungen eines durch Beobachtung gefundenen Gesetzes sind, da keine Analogie aus der Mechanik der ponderablen Materie demselben zur Seite steht. Wenn man sagt „die Intensität des Stromes sei der elektromotorischen Kraft direkt und dem Leitungswiderstande indirekt proportional, dieser letztere Widerstand aber sei der Länge der Leitung und ihrem spezifischen Widerstande direkt, ihrem Querschnitte dagegen indirekt proportional“; so entbehrt theils die Bestimmung der Intensität eines Bewegungszustandes durch die Proportionalität bewegender Kräfte und Widerstände, theils die Bestimmung eines Widerstandes durch das umgekehrte Querschnittsverhältniss des logischen Kausalzusammenhanges zwischen Ursache und Wirkung, wie er bei mathematisch-mechanischen Anschauungen gefordert wird. Wenn der galvanische Widerstand sich umgekehrt wie der Querschnitt verhält, so ist derselbe keine konstante, sondern eine variable und zwar eine von der Geschwindigkeit der strömenden Substanz direkt abhängige Grösse. Da nun die Stromstärke selbst eine Funktion der Geschwindigkeit, diese Geschwindigkeit aber eine von vornherein ganz unbekannte und erst aus der elektromotorischen Kraft und den übrigen Daten des Systems zu vermittelnde Grösse ist; so muss es im höchsten Grade überraschen, wie sich so ohne Weiteres der Werth der unbekannten Stromstärke durch Grössen niederschreiben lasse, welche selbst von dieser Stromstärke (oder von der Stromgeschwindigkeit) abhängig sind.

Hierzu kömmt, dass die Variabilität eines Bewegungszustandes mit der ersten Potenz der Geschwindigkeit etwas dem mechanischen Bereiche der ponderablen Materie durchaus Fremdes und durch keine mechanischen Prinzipien zu Begründendes ist. Die Mechanik starrer, flüssiger und gasförmiger Körper kennt als eigentliche Reibungs- und Adhäsionswiderstände nur solche, welche von der Geschwindigkeit des gleitenden Körpers unabhängig sind, ausserdem aber Verluste an lebendiger Kraft durch Stosseffekte (wie sie bei der Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren durch die Unebenheit der Wände und auf andere Weise entstehen), welche mit dem Quadrate der Geschwindigkeit variiren. Die auf die Bewegung einer Flüssigkeit angewandten mechanischen Gesetze,

wobei man sich vorstellt, diese Flüssigkeit durchdringe einen zylindrischen Körper und erleide an dessen Massentheilchen Bewegungshindernisse, sind absolut unfähig das Ohmsche Gesetz zu erzeugen, wenn man nicht die Hypothese aufstellt, dass der galvanische Widerstand der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional sei, eine Hypothese, welche sich lediglich auf die Beobachtung, nicht auf mechanische Gründe berufen kann.

Die stetige oder fließende Bewegung von Massentheilchen ist der Erzeugung von Widerständen, welche proportional mit der Geschwindigkeit wachsen, durchaus zuwider; wer an dieser Vorstellung festhält, kann nimmermehr das Ohmsche Gesetz wissenschaftlich begründen. Unsere Theorie liefert dieses Gesetz auf ganz einfache Weise folgendermaassen. Der galvanische Strom ist kein Fluss, sondern eine sukzessiv fortschreitende Trennung der Urstoffe in einer Generatrix und Verbindung derselben in den Nachbargeneratrizen, also eine sprungweise fortschreitende Verschiebung der Urstoffe nach entgegengesetzten Seiten. Diese Verschiebungsgeschwindigkeit, welche wir in §§. 371 und 372 der „Naturgesetze“ als Stromgeschwindigkeit aufgeführt und mit b bezeichnet haben, darf nicht mit der ungemein viel grösseren Fortpflanzungsgeschwindigkeit, welche für alle Ströme nahezu 60 000 Meilen pro Secunde beträgt, verwechselt werden, indem diese die Geschwindigkeit darstellt, mit welcher sich ein Impuls zur Verschiebung fortpflanzt. Stellt man sich nun vor, dass an einer beliebigen Stelle des Stromkreises, welcher den Querschnitt c und die Länge l hat, in der Volumeinheit des leitenden Körpers zu gleicher Zeit eine bestimmte Anzahl μ von Generatrizen in ihre Urstoffe zerlegt werden, so dass also μ die Dichtigkeit der strömenden Urstoffe bezeichnet, ferner, dass sich diese Zerlegung in der Zeiteinheit b -mal wiederhole, sodass also b die Stromgeschwindigkeit und $b\mu$ die Menge der in der Volumeinheit in jeder Zeiteinheit zu zerlegenden Generatrizen bezeichnet, endlich, dass zur Zerlegung einer einzelnen Generatrix oder zu einer elementaren galvanischen Zerlegung die elektromotorische Kraft k erforderlich sei; so wird eine in der Richtung des Stromes wirkende elektromotorische Kraft q , welche im Stande ist, den Widerstand des leitenden Körpers von der Länge l und dem Querschnitt c , also von dem Volum cl zu überwinden, den Werth $q = k b c l \mu$ haben müssen, da dieselbe selbst in dem kleinsten Zeitelemente eine diesem Werthe proportionale Anzahl von gleich starken elementaren Zerlegungsimpulsen zu ertheilen hat. In allen Fällen erscheint uns die elektromotorische Kraft q als ein Vermögen, welches die Fähigkeit hat, in jedem ungemein kleinen Zeitraume von bestimmter Dauer einer der Grösse q proportionale Anzahl von elementaren Zerlegungsimpulsen zu ertheilen, gleichviel, ob diese Impulse nacheinander oder auf einmal oder in beliebigen Perioden und Mengen erfolgen.

Wegen der durch die Trennung und Wiederverbindung bewirkten Verschiebung der Urstoffe verrichtet die elektromotorische Kraft q eine galvanische Arbeit, welche pro Zeiteinheit durch das Produkt $qb = kb^2 cl \mu$ gemessen ist.

Wenn die ganze galvanische Kette (Batterie und Leitung) aus mehreren Theilen von verschiedenen Stoffen und Dimensionen besteht; so ist die Summe der galvanischen Arbeiten der Widerstände

$$k_1 b_1^2 c_1 l_1 \mu_1 + k_2 b_2^2 c_2 l_2 \mu_2 + \text{etc.}$$

Wenn in irgend einem Querschnitte c' ein Elektromotor thätig ist, welcher in derselben Weise galvanischen Druck erzeugt, wie sich in vorstehender Weise galvanischer Widerstand bildet; so sei die motorische Kraft desselben pro Flächeneinheit gleich q' , also in der ganzen Fläche des motorischen Querschnittes gleich $q' c'$. Dieser Motor, welcher hier die Äthermenge μ' pro Volumeinheit mit der Geschwindigkeit b' in Strömung versetzt, wird in der Zeiteinheit die motorische Arbeit $q' b' c'$ liefern. Sind mehrere solche motorische Querschnitte vorhanden; so ist die gesammte motorische Arbeit

$$q' b' c' + q'' b'' c'' + \text{etc.}$$

Diese galvanomotorische Arbeit muss der Arbeit der galvanischen Widerstände gleich sein. Da aber die in der Zeiteinheit zerlegte und fortgeschobene Äthermenge an jeder Stelle der Leitung offenbar denselben Werth i hat, welcher die Stromstärke darstellt, da also

$$i = b c \mu = b_1 c_1 \mu_1 = b_2 c_2 \mu_2 = b' c' \mu' = b'' c'' \mu''$$

ist; so ergiebt die Gleichsetzung der vorstehenden beiden Ausdrücke die Arbeits- oder Momentengleichung

$$\left(\frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{k_2 l_2}{\mu_2 c_2} + \text{etc.} \right) i = \frac{q'}{\mu'} + \frac{q''}{\mu''} + \text{etc.}$$

Hieraus findet sich die Stromstärke i durch den Ausdruck

$$i = \frac{\frac{q'}{\mu'} + \frac{q''}{\mu''} + \text{etc.}}{\frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{k_2 l_2}{\mu_2 c_2} + \text{etc.}}$$

Diese Formel enthält das Ohmsche Gesetz, wenn man unter $\frac{q'}{\mu'}$, $\frac{q''}{\mu''}$ etc. die elektromotorischen Spannungen und unter $\frac{k_1}{\mu_1}$, $\frac{k_2}{\mu_2}$ etc. die spezifischen Widerstände versteht. Diese Grössen erscheinen in unserer Formel von der Dichtigkeit μ' , μ'' , μ_1 , μ_2 etc, welche die strömenden Urstoffe an den verschiedenen Stellen der Stromkette haben, abhängig: wäre diese Dichtigkeit eine für alle Körper konstante Grösse (wie wir in §. 372 der „Naturgesetze“ angenommen haben); so würde sie aus der vorstehenden Formel ganz verschwinden.

Wir machen nachdrücklich darauf aufmerksam, dass der Leitungswiderstand wesentlich als ein Scheidungswiderstand, nämlich als eine Kraft erscheint, womit die Materie der Scheidung und Verschiebung der Urstoffe auf die Nachbarelemente widersteht und dass diese Widerstandskraft eine Analogie zur mechanischen Trägheit des Ponderabelen darbietet: wie gross auch der Leitungswiderstand k und wie klein auch der elektromotorische Druck q' sei, immer ist in einem Leiter ein galvanischer Strom von bestimmter Intensität möglich.

4. Wärmeeffekt.

Dass der galvanische Strom und die Verbindung entgegengesetzter Elektrizitäten Wärme erzeugt, wird, weil es einmal eine Thatsache ist, wie etwas Selbstverständliches betrachtet; aus der herrschenden Theorie der Elektrizität und der Wärme lässt sich diese Thatsache jedoch nicht erklären. Da nach unserer Theorie die Wärme in der pendulirenden Schwingung der Radian besteht; so ist eine Tendenz zu einer solchen Bewegung nachzuweisen, was folgendermaassen geschehen kann.

Wenn $abde$ in Figur 10 eine Generatrix ist, welche positiven Urstoff in der Richtung des Pfeiles, negativen Urstoff aber in entgegengesetzter Richtung aussendet; so wird der positive Urstoff bestimmt nicht auf einmal aus allen Punkten dieser Generatrix mit gleicher Lebhaftigkeit entlassen werden, da der rechtsseitigen Hemisphäre die anziehenden Elemente der auf der rechten Seite liegenden Generatrix näher liegen, als der linksseitigen Hemisphäre. Wie sich aber die rechtsseitige Hemisphäre für den positiven Urstoff verhält, so verhält sich die linksseitige für den entgegengesetzt wandernden negativen Urstoff. Daraus folgt, dass irgend ein Radius ca der Generatrix durch die Losreissung des positiven Urstoffes gerade so affizirt wird, wie der entgegengesetzte Radius cd durch die Losreissung des negativen Urstoffes affizirt wird. Hieraus ist ersichtlich, dass jeder Durchmesser ad der Generatrix durch die Austreibung der sich trennenden und die Eintreibung der sich verbindenden Urstoffe in eine pendulirende Bewegung versetzt werden, also zu einer Wärmeentwicklung Veranlassung geben wird. Noch bestimmter erweist sich Diess, wenn wir die galvanische Strombewegung in nachstehender Weise spezialisiren.

Wenn c in Figur 11 der Mittelpunkt einer Generatrix des Stromleiters ist; so scheidet sich in dieser Generatrix eine gewisse Menge positiver und negativer Urstoff: ersterer wird durch den Druck des Galvanomotors nach rechts gegen h , letzterer nach links gegen k getrieben. Hierdurch erlangen beide Urstoffe momentan eine relative Freiheit, welche für jeden so lange dauert, bis er sich mit entgegengesetztem Urstoffe wieder verbunden hat. In Folge dieser Entfesselung wird der nach h vorgeschobene positive Urstoff sofort durch die Repulsion seiner Theile in den Umfang der Generatrix fliehen, um sich dort zu einem auf der Stromaxe normal stehenden Ringe ae zu formiren, während der negative Urstoff den Ring ad bildet. Die Bewegung eines positiven Pünktchens des Ringes ae ist daher das Resultat eines Fortschrittes in der Stromrichtung und einer normalen Abweichung, im Allgemeinen längs einer gekrümmten Bahn, welche in c an der Stromaxe ch tangent ist, welche also Fortschritt und Drehung und demnach eine kalorische Schwingungstendenz involvirt.

Übrigens nehmen wir an, dass während ein positives Pünktchen sich von c nach a bewegt, das davon geschiedene negative Pünktchen nicht nach b , sondern in direkt entgegengesetzter Bahn nach d geht, indem der Galvanomotor seine trennende Kraft in der Axe kh des

Stromfadens von dem Mittelpunkte c aus äussert und sich von hier her mit den Repulsionskräften der entfesselten Urstoffe zu Resultanten komponirt, welche Spannungen in den durch c gehenden Linien ad und be hervorbringen.

Nachdem die im Punkte c geschiedenen Urstoffe sich zu Ringlinien ae und bd expandirt haben, findet in diesen Ringen die Verbindung mit den entgegengesetzten Urstoffringen der Nachbarelemente statt, welcher Verbindung sofort die Kontraktion auf einen in der Stromaxe liegenden Punkt nachfolgt. Wenn man diese Expansionen und Kontraktionen ausser Acht lässt, erscheint die Strombewegung als eine Strömung entgegengesetzter Urstoffringe nach entgegengesetzten Seiten. Aus jedem auf der Stromaxe normal stehenden mathematischen Querschnitte strömt positiver Urstoff in einer Ringlinie nach der einen und negativer Urstoff nach der anderen Seite; man muss jedoch, solange die Urstoffe unverbunden existiren, zwischen je zwei diametral gegenüberliegenden entgegengesetzten Urstoffpunkten wie a und d eine Spannung voraussetzen.

Gäbe es eine Kraft, welche die Urstoffe in den Ringen ae und bd getrennt und expandirt erhielte, ohne dass bei ab und ed eine Verbindung erfolgte; so würde die galvanische Spannung als ein dauernder Gleichgewichtszustand fortbestehen. Die Induktion eines entfernten Stromes übt auf eine geschlossene Leitung eine solche Spannkraft aus.

Indem wir zu dem kalorischen Effekte des Stromes zurückkehren, behalten wir die in Nr. 3 gewählte Bezeichnung bei und konstatiren, dass die Menge der im Drathe von der Länge l und vom Querschnitte c in der Zeiteinheit von der materiellen Substanz abgetrennten und der darin wieder vereinigten Äthertheilchen der Grösse $bc l \mu$ proportional ist. Die zu einem solchen Prozesse erforderliche Kraft ist, wenn k den Leitungswiderstand bezeichnet, proportional $k b c l \mu$. Es handelt sich um Stosseffekte oder um die Arbeit, welche diese Kraft pro Zeiteinheit verrichtet. Hierzu ist als zweiter Faktor die Kenntniss des Weges erforderlich, welchen der Angriffspunkt dieser Kraft pro Zeiteinheit zurücklegt. Da b die Stromgeschwindigkeit bezeichnet; so wird der fragliche Weg der Grösse b proportional sein und man hat für die gesuchte Arbeit den Werth $k b^2 c l \mu$. Dieser Werth ist der in der Zeiteinheit entwickelten Wärme a proportional; man hat also, wenn α einen konstanten Koeffizienten darstellt,

$$a = \alpha \cdot \frac{k l}{\mu c} i^2$$

und auch, wenn man für $\frac{k l i}{\mu c}$ die elektromotorische Kraft $\frac{q}{\mu}$ substituirt

$$a = \frac{\alpha q i}{\mu}$$

Diese Formeln enthalten das bekannte, durch Beobachtung gefundene Gesetz, dass die Wärmeentwicklung dem Leitungswiderstande und dem Quadrate der Stromintensität proportional ist, auch dass sie, bei konstanter elektro-

motorischer Kraft, einfach der Stromintensität proportional ist.

Eine wesentliche Unterstützung findet unsere Wärmetheorie an der Erwärmung, welche der Wechsel der magnetischen Polarität im Eisen hervorbringt. Wenn nach unserer Theorie Wärme auf Pendelschwingungen der Radian ca und Magnetismus auf dem Spannungszustande rotatorisch verdrehter Urstoffe beruht; so muss die Kraft, welche einen Eisenstab in einen Magneten verwandelt, vermöge des Impulses, welchen der um einen bestimmten Winkel nach der einen Seite sich drehende positive Urstoff und der um denselben Winkel nach entgegengesetzter Seite sich drehende negative Urstoff auf die Radian der materiellen Generatrix ausübt, einen kalorischen Effekt ausüben, aber dieser Effekt kann nur in einem einmaligen kalorischen Impulse bestehen, d. h. Wärme kann nur bei der Magnetisirung entstehen, der fertige Magnet vermag keine Wärme zu produziren. Vor allen Dingen muss ein wiederholter Polwechsel, da derselbe wiederholte kalorische Impulse liefert, ein wirksames Erwärmungsmittel sein, besonders, wenn die Magnetisirung nicht durch die Induktion eines permanenten Magneten auf einen zwischen seinen Polen rotirenden Eisenstab, sondern durch die rasche Umkehrung des Stromes eines Elektromagneten geschieht. Die Erfahrung bestätigt alle diese Konsequenzen, und die Beobachtungen von W. Siemens lehren, welch hohe Hitzgrade durch raschen Polwechsel hervorgebracht werden können.

Was die Effectberechnung betrifft; so ist die Kraft eines permanenten Magneten seinem Volum v , ferner der Menge μ der in der Volumeinheit verdrehten Urstoffe und dem Torsionswinkel ϑ , also der Grösse $v \vartheta \mu$ proportional. Wenn k den Widerstand bezeichnet, welchen die Urstoffe der rotatorischen Verdrehung pro Masseneinheit entgegensetzen, ist $k v \vartheta \mu$ die Kraft, womit die sich verdrehenden Urstoffe bei der Magnetisirung ihre Generatrizen angreifen. Die Arbeit dieser Kraft ist dem Werthe derselben und ihrem Winkelwege, also dem Punkte $k v \vartheta^2 \mu$ proportional. Erfolgen nun in der Zeiteinheit n Polwechsel; so ist die dadurch erzeugte Wärme proportional $n k v \vartheta^2 \mu$ oder, wenn man die Intensität des Magneten, d. h. seine Kraft pro Volumeinheit $\vartheta \mu = i$ setzt, proportional $n \frac{k}{\mu} v i^2$.

Dieses Resultat lehrt, dass die durch den Polwechsel erzeugte Wärme dem Quadrate der magnetischen Intensität proportional ist. Dieses Resultat ist schon von Joule bestätigt: ob auch das Wachsthum der Wärme proportional der Schnelligkeit des Polwechsels konstatirt worden, ist mir nicht bekannt, erscheint jedoch unfraglich.

Der galvanische Strom erzeugt nur Wärme, indem er dauert, der Magnetismus nur, indem er entsteht: Diess beweis't nicht nur, dass der Strom ein Bewegungszustand ist, sondern auch, dass er eine Reihenfolge von Impulsen, ein fortgesetztes Trennen und Verbinden ist; ausserdem liegt darin der Beweis, dass der Magnetismus kein Bewegungszustand, sondern dass er ein Ruhezustand und zwar ein Spannungs-

zustand ist. Mittelst des Stromes lässt sich Wärme durch Aufopferung von chemischen Verbindungen erzeugen, mittelst eines permanenten Magneten dagegen lässt sich Wärme durch Aufopferung von mechanischer Arbeit erzeugen. Diese mechanische Arbeit besteht übrigens lediglich in der zur Rotation eines Eisenkörpers zwischen den Polen des Magneten erforderlichen Arbeit, welche viel kleiner sein kann, als das mechanische Äquivalent der erzeugten Wärme, indem der eigentliche Motor für diese kalorische Arbeit in dem Magneten liegt. Die durch den galvanischen Strom erzeugte Wärme ist dem chemischen Zersetzungsprodukte äquivalent; dieses Verfahren wird also, wenn es sich um Erwärmung handelt, in den meisten Fällen kostspieliger sein, als die unmittelbare Verbrennung von Holz oder Steinkohle. Der permanente Magnet könnte jedoch ein billigeres Erwärmungsmittel werden.

5. Lichteffect.

Wenn nach unserer Annahme Wärme in Pendelschwingungen besteht; so muss damit nothwendig ein Lichtprozess verbunden sein, welcher sich mit der Verstärkung der Wärme unausgesetzt steigert und endlich für die menschlichen Sehnerven bemerkbar wird: denn jede Schwingung bietet abwechselnd ein Maximum und ein Minimum von Geschwindigkeit, also, wenn diese Geschwindigkeit eine rotatorische ist, ein Maximum und ein Minimum von Zentrifugalkraft, und demgemäss eine abwechselnde Ausdehnung und Kontraktion jedes pendulirenden Radius ca und demzufolge jedes Elementes der Kugelfläche $aedb$ der Generatrix dar (Figur 10). Diese auf dem Radius ca normal stehende Vibration, welche sich in der Richtung ca vermöge der Abscherungsfestigkeit zwischen den benachbarten Generatrizen fortpflanzt, ist der Lichtprozess. Wärme erzeugt also Licht, aber Licht erzeugt keine Wärme, weil Transversalschwingungen bei a , welche normal auf der Linie ca vor sich gehen und durch Abscherungsfestigkeit sich fortpflanzen, keineswegs eine Rotation um c bedingen. Demzufolge ist auch der Wärme, nicht aber dem Lichte Expansivkraft eigen, da nur die Pendelschwingungen Zentrifugalkraft erzeugen (cfr. S. 223 des ersten Supplementes zum 2. Theile der Naturgesetze).

Hiernach versteht es sich von selbst, dass der galvanische Strom, da er den durchströmten Körper erwärmt, denselben schliesslich auch zum Leuchten bringt: allein, dieser von der Wärme bedingte sekundäre Lichtprozess ist ganz unabhängig von dem primären Lichtprozesse, welcher den Strom begleitet. Bei der Trennung der Urstoffe werden beide auf eine gewisse Zeit der sie aneinander fesselnden kosmetischen Kraft ledig, also mehr oder weniger frei. Hieraus entspringt die in der vorhergehenden Nummer erörterte periodische Expansion der Urstoffe zu Ringen mit der darauf folgenden, durch die Verbindung der entgegengesetzten Urstoffe bedingten Kontraktion der Ringe zu Punkten, also eine Bewegung, welche nach unserer Theorie des Lichtes ein optischer Prozess ist.

Dieser Lichtprozess steht mit dem Wärmeprozesse, der durch die

Stosseffekte in der Stromrichtung erzeugt wird, zwar in einer gewissen Beziehung, jedoch nicht in der der Proportionalität. Bei der Berechnung seines Effectes pflegt man von der Voraussetzung auszugehen, dass eine Veränderung der Lichtintensität, d. h. der Leuchtkraft pro Einheit der leuchtenden Fläche, mit einer Temperaturveränderung begleitet sei. Diese Voraussetzung ist einwandsfrei: der Gebrauch, der davon gemacht ist, ergiebt aber keine richtigen Formeln; es ist der folgende. Die in der Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge hat für einen zylindrischen Drath vom Durchmesser d nach N. 4 einen Werth von der Form

$a = \frac{a k l}{\mu} \frac{i^2}{d^2}$. Nachdem der Beharrungszustand eingetreten ist, giebt der Drath diese Wärme durch Strahlung und Leitung der Fläche ab, deren Grösse proportional $d l$ ist. Setzt man diese Wärmeabführung der konstant bleibenden Temperatur t des Drathes oder, besser, der Differenz $t - t'$ der Temperatur des Drathes und der Temperatur des umgebenden Mediums proportional; so erhält man eine Gleichung von der Form

$$\frac{a k l}{\mu} \frac{i^2}{d^2} = \beta (t - t') d l$$

Ist J die Intensität des Lichtes, also $d l J$ die gesammte Lichtmenge, welche der Drath aussendet; so hat man auch

$$d \cdot J = \frac{a k}{\mu} \frac{i^2}{d^2} = \beta (t - t') d$$

Aus dieser Formel schliesst man, dass die Lichtmenge $d J$ dieselbe bleibe, wenn die Stromstärke i proportional mit der Drathstärke d variire. Die Übereinstimmung dieses Resultates mit den Beobachtungen von Zöllner kann nur als eine zufällige betrachtet werden: denn bekanntlich ist der Leitungswiderstand k eines Stoffes keine konstante Grösse, sondern von der Temperatur t abhängig. Diese Abhängigkeit bedingt für die hohen beim Erglühen von Metalldräthen in Betracht kommenden Temperaturen sehr erhebliche Änderungen des Werthes von k , ohne deren Berücksichtigung jeder Schluss aus der vorstehenden Formel irrthümlich ist.

Erst unter Einführung des von t abhängigen Werthes in den Ausdruck des Leitungswiderstandes k erlangen alle galvanischen Formeln ihre rechte Bedeutung. Nach der schon von Clausius gemachten Bemerkung kann es keinem Zweifel unterliegen, dass für metallische Leiter, worunter wir hier normal sich verhaltende Leiter verstehen wollen; der Leitungswiderstand k proportional mit der natürlichen oder absoluten Temperatur (deren Nullpunkt 273°C . unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt) wächst. Indem wir also unter t und t' die natürlichen Temperaturen verstehen, setzen wir $\frac{k}{\mu} = \alpha l$. Hierdurch stellt sich zunächst das Ohmsche Gesetz in der Form

$$\left(\frac{\alpha l t}{d^2} + K \right) i = q$$

dar, worin K die Widerstände aller übrigen Theile der Leitung, welche nahezu konstante Temperatur behalten, und q die gesammte motorische Spannung bezeichnet (für alle übrigen Theile der Leitung ergibt sich ein Glied mit dem Faktor t). Die kalorische Formel ist nun, wenn κ' einen konstanten Koeffizienten bezeichnet,

$$a = \frac{\kappa' l t i^2}{d^2}$$

Die Beziehung zwischen der Temperatur und der Stromstärke, welche zugleich die Beziehung zwischen der Lichtstärke und der Stromstärke ergibt, wird für konstante Werthe von a und β

$$d \cdot J = \frac{a t i^2}{d^2} = \beta (t - t') d$$

Aus der letzten Gleichung folgt für die Stromstärke

$$i = \sqrt{\frac{\beta d^3 (t - t')}{a t}}$$

und für die Temperaturdifferenz $t - t'$

$$t - t' = \frac{a t'}{\beta \left(1 - \frac{a i^2}{\beta d^3}\right)} \cdot \frac{i^2}{d^3}$$

und für die Lichtmenge

$$d \cdot J = \frac{a t'}{1 - \frac{a i^2}{\beta d^3}} \cdot \frac{i^2}{d^2}$$

und für die Lichtintensität J

$$J = \frac{a t'}{1 - \frac{a i^2}{\beta d^3}} \cdot \frac{i^2}{d^3}$$

Vorausgesetzt also, dass die äussere Temperatur t' einen konstanten Werth behalte, so wird die Lichtmenge $d J$ nahezu konstant bleiben, wenn die Stromstärke i proportional mit der Drathstärke d variirt, insofern das zweite Glied im Nenner klein ist gegen die Einheit, also bei schwachen Strömen, wie es den Versuchen von Zöllner entspricht. Für ganz beliebig starke Ströme wird aber die Lichtintensität J konstant bleiben, wenn die Stromstärke i wie die Potenz des Grades $\frac{3}{2}$ der Drathstärke d variirt. Die Beobachtungen von Müller, welche sich auf die Lichtintensität beziehen, scheinen hiernach nicht genau genug angestellt zu sein.

Von besonderem Einflusse ist die Temperatur t' des umgebenden Mediums. Hierunter muss diejenige Temperatur verstanden werden, welche dieses Medium in der den Drath unmittelbar berührenden Schicht annimmt, eine Temperatur, welche sicherlich mit der Temperatur t des Drathes selbst steigt, also grösser sein wird, als die in einiger Entfernung vom Drathe stattfindende. Das umgebende Medium kann nur durch die vom Drathe übergeleitete, nicht durch die von demselben

ausgestrahlte Wärme erwärmt werden. Da im luftleeren Raume keine Leitung, sondern nur Strahlung stattfindet; so wird hier die äussere Temperatur t' niedriger sein, als in der Luft. Hieraus folgt, dass im luftleeren Raume der Lichteffect eines Stromes von gegebener Intensität schwächer sein wird, als in der Luft: allein, wir werden sogleich zeigen, dass eine Batterie von gegebener motorischer Kraft im luftleeren Raume einen stärkeren Strom erzeugt und darum einen erhöhten Lichteffect liefert.

Wiedemann bemerkt auf S. 626 seiner Lehre vom Galvanismus, dass wenn man die Wärmeentwicklung nach der Formel von Joule berechne, die Helligkeit der Dräthe sehr viel schneller steige, als die Wärmeentwicklung. Diess ist sehr wahr, beweis't aber, dass dann die Formel von Joule mit den Beziehungen, welche zwischen der Licht- und Wärmeentwicklung bestehen, nicht kombinirt werden kann und dass sie unzutreffend ist. Das ist sie auch, weil sie die Konstanz des Leitungswiderstandes k voraussetzt. Sobald αt für k gesetzt wird, verschwinden die Abweichungen der Rechnungsergebnisse von den Beobachtungen: die Wärmemenge a zeigt sich dann ebenso wie die Lichtmenge dJ proportional mit dem Quadrate der Stromstärke i und zugleich proportional mit der natürlichen Temperatur t wachsend.

Übrigens scheint der Koeffizient α und β für jede Lichtfarbe einen besonderen Werth zu haben, die Lichtausstrahlung bei derselben Temperatur scheint also von der Vibrationsgeschwindigkeit abhängig zu sein und zwar mit derselben zu wachsen.

Die vorstehenden Formeln gelten für Ströme von gegebener Stärke i oder von gegebener Temperatur t , setzen also eine Batterie von variabler Kraft q voraus. Ist aber diese Kraft gegeben: so findet sich sowohl die Stromstärke, als auch die Temperatur, indem man den Werth von i oder t aus den letzten Gleichungen in das berichtigte Ohmsche Gesetz substituirt. Diess giebt die kubischen Gleichungen

$$\frac{\beta d^3 (t - t')}{\alpha t} \left(\frac{\alpha l t}{d^2} + K \right)^2 = q^2$$

$$\frac{\beta \alpha d l t' i}{\beta d^3 - \alpha i^2} + K i = q$$

Wenn die äussere Temperatur t' auf den absoluten Nullpunkt herabsänke, müsste die Batterie jedenfalls so eingerichtet sein, dass sie die Stromstärke $i = \sqrt{\frac{\beta d^3}{\alpha}}$ lieferte. Erzeugte dieselbe einen stärkeren Strom; so wäre kein Beharrungszustand möglich; der Drath vermöchte nicht soviel Wärme abzuführen, als er empfängt, die Temperatur t würde dann also jede Grenze überschreiten und der Drath sicher schmelzen.

Wären die Widerstände in der Batterie gegen die in der Leitung verschwindend klein, sodass man K vernachlässigen könnte; so erhielte man

$$t = \frac{t'}{2} + \sqrt{\frac{\alpha d q^2}{\beta x^2 l^2} + \frac{t'^2}{4}}$$

$$i = -\frac{\beta x d l t'}{2 \alpha q} + \sqrt{\frac{\beta d^3}{\alpha} + \left(\frac{\beta x d l t'}{2 \alpha q}\right)^2}$$

$$t - t' = -\frac{t'}{2} + \sqrt{\frac{\alpha d q^2}{\beta x^2 l^2} + \frac{t'^2}{4}}$$

Diese Formeln enthalten das interessante Resultat, dass wenn bei konstanter Batterie q von geringem inneren Widerstande die äussere Temperatur t' erniedrigt wird, die Temperatur t des Drathes sich vermindert, trotzdem aber nicht bloss die Stromstärke i , sondern auch die Temperaturdifferenz $t - t'$ und demzufolge der Lichteffect dJ sich erhöht. Ein starker Widerstand K in der Batterie ändert das Verhältniss dergestalt, dass bei ungemein grossem Werthe von K die Stromstärke i nahezu konstant gleich $\frac{q}{K}$ und die Temperatur t , sowie die Temperaturdifferenz $t - t'$ und der Lichteffect der äusseren Temperatur t' proportional wird, also mit dieser steigt und fällt. (Dass in allen Fällen die Abkühlung eines Theiles der Leitung den anderen Theil zum stärkeren Glühen bringen muss, begreift sich ohne Rechnung, da eine Verstärkung des Stromes da, wo die äussere Temperatur verbleibt, eine Vergrösserung von t , $t - t'$ und J zugleich hervorbringt).

6. Farbe des elektrischen Lichtes.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit, Stromgeschwindigkeit und Vibrationsgeschwindigkeit sind drei voneinander völlig unabhängige Bewegungszustände. Die erste, welche die Länge des Weges misst, um welche ein bestimmter elektrischer Bewegungszustand in einer Zeiteinheit fortgepflanzt wird, hängt von dem Elastizitätsmodel des Äthers und den Hindernissen des leitenden Körpers ab und entspricht nahezu der Geschwindigkeit des Lichtes. Die Stromgeschwindigkeit bezeichnet die Menge des Urstoffes, welche in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt von der Grösse der Flächeneinheit getrieben wird, wenn die Dichtigkeit des Urstoffes die Dichtigkeitseinheit ist; diese Geschwindigkeit hängt von der Stärke des elektromotorischen Druckes ab und ist ihr nach Nr. 3 proportional. Die Vibrationsgeschwindigkeit bezeichnet die Anzahl der Trennungen und Verbindungen, welche jedes strömende Urstofftheilchen in der Zeiteinheit macht. Nimmt man an, dass der geschiedene Urstoff, welcher einer Generatrixschale vom Radius r angehört, in ununterbrochenem Sprunge in diejenige Schale von gleichem Radius r übertritt, welche die erstere von aussen berührt, dass also der Durchmesser $2r$ der Schale die Sprungweite misst, mithin die Anzahl der Sprünge pro Zeiteinheit oder die Vibrationsgeschwindigkeit dem umgekehrten Werthe des Radius der Schale entspricht; so wird der Urstoff eines schalenförmigen Elementes der Generatrix vom Radius $\frac{1}{n} r$

n -mal so viel Sprünge machen oder n -mal so oft verbunden und getrennt werden, wie der Urstoff einer Schale vom Radius r : gleichwohl ist die Stromgeschwindigkeit für alle Schalen einer Generatrix ganz dieselbe, der Urstoff aller Schalen rückt also in der Zeiteinheit um dieselbe Entfernung vor, wenngleich die verschiedenen Schalen verschieden oft frei und gebunden werden. Nimmt man an, der geschiedene Urstoff einer Schale vom Radius r springe mit einem Male nicht in die diese Schale von aussen tangirende Schale, sondern in eine unmittelbar benachbarte Schale, deren Abstand einen bestimmten aliquoten Theil des Radius ausmacht; so werden die kleineren Schalen ebenfalls im umgekehrten Verhältnisse ihres Radius rascher springen als die grösseren Schalen. Die letztere Annahme, welche zwischen den Vibrationsgeschwindigkeiten der einzelnen Schalen dieselben Verhältnisse stiftet wie die erste, macht es möglich, dass bei einer mässigen Strömungsgeschwindigkeit die Vibrationsgeschwindigkeit doch die hohen Zahlwerthe der Vibrationsgeschwindigkeit des Lichtes erreiche, dass also die galvanischen Impulse unmittelbar Lichtstrahlen von verschiedener Farbe erzeugen. Uebrigens würden auch bei der ersteren Annahme durch die Erschütterung der Schalen von verschiedenem Radius und verschiedener Spannung Lichtstrahlen von verschiedener Farbe entstehen. Jedenfalls erläutert das Verhalten der schalenförmigen Elemente der Generatrix eines Gases sehr gut das Phänomen des geschichteten farbigen elektrischen Lichtes.

Die leeren Schalen der Generatrix entsprechen den dunklen Fraunhoferschen Linien des Spektrums dieses Lichtes.

Die Schichtung und das Spektrum komplizirt sich für Gase, welche keine chemischen Grundstoffe, sondern zusammengesetzte Körper sind, indem für solche das Molekül aus mehreren Atomen zusammengesetzt ist, also mehrere Generatrizen mit verschiedenen Schalensystemen zusammenwirken.

7. Geschmack.

Wie das Auge das Sinnesorgan für das Licht, das Ohr das Organ für den Schall, die Haut oder der sensible Nervenapparat das Organ für die Wärme und die Elastizitätsspannung ist, so ist die Zunge oder der gustische Apparat das Organ für den galvanischen Strom, d. h. für den in Form des Stromes eines Leiters zweiter Klasse vor sich gehenden Stoffwechselprozess. Die Lösung eines Körpers im Speichel des Mundes bildet die zwischen Zunge und Gaumen liegende Batterie, welche vermittelt des in ihr entstehenden Voltaschen Stromes in dem von diesen Polen ausgehenden geschlossenen gustischen Nervensysteme einen galvanischen Strom erzeugt, dessen Eigenart vom Sensorium als Geschmack des gelös'ten Körpers empfunden wird. Die Besonderheiten der Geschmacksempfindung entsprechen meines Erachtens dem Wesen jenes Stromes in ganz ähnlicher Weise, wie die Licht- und Schallempfindungen dem optischen und akustischen Strahle entsprechen. Die Intensität dieses Stromes liefert die Intensität des Geschmackes. Die Vibrationsgeschwindigkeit erzeugt Geschmackseindrücke, welche mit der Tonhöhe

des Schalles und der Farbe des Lichtes korrespondiren. Indem sich einfache Ströme von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit ineinander lagern, entstehen gemischte Geschmacksempfindungen.

In einem chemisch zusammengesetzten Körper besteht jedes Atom aus einem Systeme von Generatrizen, welche sich positiv und negativ elektrisch gegeneinander verhalten, also eine Spannung aufeinander ausüben, die nothwendig die relative Stellung der Generatrizen und ihrer Schalen beeinflusst. Die abwechselnde Trennung und Verbindung der positiven und negativen Atome im Voltaschen Strome zieht unfehlbar oszillirende Bewegungen der Generatrizen eines jeden dieser Atome nach sich, welche theils in Seitenbewegungen gegen die Stromaxe, theils in Drehungsbewegungen um diese Axe bestehen. Indem sich eine oszillatorische Transversalbewegung mit einer sprungweisen Fortschrittsbewegung kombinirt, beschreibt eine positive Generatrix die ausgezogene Wellenlinie in Fig. 12, während die negative Generatrix die in derselben Ebene liegende punktirte Wellenlinie beschreibt. Diese Figur zeigt den Grundcharakter des Stromes in einer binären Verbindung. Eine quaternäre Verbindung kann eine Oszillation der Ebene dieser Wellenlinien um die Stromaxe ad nach sich ziehen.

Indem die verschiedenen Schalen derselben Generatrix verschiedene Wellenlinien beschreiben, kennzeichnet das Gesamtsystem dieser Linien oder die Form der daraus für die ganze Generatrix sich zusammensetzenden Schwingungskurve den Charakter des Geschmackes.

8. Berichtigung des Ohmschen Gesetzes.

Der Leitungswiderstand k , welchen die elektromotorische Kraft q' bei Erzeugung eines galvanischen Stromes in einem gegebenen Körper zu überwinden hat, hängt von der physikalischen Beschaffenheit dieses Körpers ab, wird also von dessen Stoffgehalt, Temperatur, Dichtigkeit und anderen Eigenschaften bedingt sein. Da es sich bei der Erzeugung eines Stromes wesentlich um Scheidung der Urstoffe, also um einen chemilogischen Vorgang, um die Trennung einer ätherischen Verbindung handelt; so ist der chemische Stoff des Leiters, welcher nach unserer Theorie lediglich durch die Art der Zusammensetzung des Körperatoms aus den beiden Urstoffen bestimmt ist, das wichtigste Bestimmungselement für den Widerstand k . Sodann wird Alles, was die Affinität der Urstoffe beeinflusst, auch den Werth von k beeinflussen. Den erheblichsten Einfluss dieser Art schreiben wir der Wärme zu. Die pendulirenden Schwingungen der Radian einer Generatrix, welche unablässig ein Maximum und ein Minimum von Spannung und Verdichtung der Äthermasse in dieser Generatrix erzeugen, also mit einem unablässigen Wechsel eines Maximums und eines Minimums von Intimität der Berührung des in einem schwingenden Radius vereinigten positiven und negativen Urstoffes begleitet ist, verleihen unseres Bedünkens der Verbindungsbegierde dieser Urstoffe einen gewissen Grad. Wir setzen diesen Vivazitätsgrad, womit die Urstoffe sich zu einer Generatrix verbinden, der bei jeder kalorischen Schwingung entstehenden Maximalspannung oder der derselben entsprechenden Zentrifugalkraft, also der

natürlichen Temperatur t proportional, indem diese Eigenschaften nach dem ersten Supplemente zum zweiten Theile der Naturgesetze, Nr. 3, einander proportional sind.

Hiernach nehmen wir an, dass die Urstoffe mit umso grösserer Begierde ihre Verbindung aufrecht erhalten, je höher ihre Temperatur ist, dass also zu ihrer Scheidung eine umso stärkere elektromotorische Kraft k aufgewandt werden muss, eine Annahme, welche darauf hinaus läuft, dass im wärmelosen Zustande die Verbindungsbegierde ganz erlischt. Unter diesen Umständen haben wir für k einen Ausdruck von der Form κt zu substituiren: ist aber k_1 der Werth von k für eine bestimmte Temperatur t_1 ; so hat man $\kappa = \frac{k_1}{t_1}$, also $k = \frac{k_1 t}{t_1}$. Misst man die Temperatur mit dem Celsiusschen Thermometer, sodass τ die Temperatur über dem Gefrierpunkte und $t = 273 + \tau = 273 (1 + 0,00366 \tau)$ ist; so wird der spezifische Widerstand

$$\frac{k}{\mu} = \frac{273 k_1}{\mu_1 t_1} (1 + 0,00366 \tau) = \kappa_1 (1 + 0,00366 \tau)$$

Wenn der Stromkreis ein gegebener Apparat ist, dessen Dimensionen sich durch die Erwärmung dieser und jener Theile mit ändern; so gesellt sich zu der Variation des spezifischen Widerstandes noch die durch die Temperatur bedingte Variation der fraglichen Dimensionen l und c . Wenn der in Rede stehende Theil der Leitung ein starrer Körper ist, variiren seine Dimensionen mit der Temperatur nach bekannten kalorischen Gesetzen, welche angenähert durch Formeln von der Form

$$\begin{aligned} l &= l_1 (1 + \alpha \tau) \\ c &= c_1 (1 + 2 \alpha \tau) \\ \frac{l}{c} &= \frac{l_1}{c_1} (1 - \alpha \tau) \end{aligned}$$

ausgedrückt werden und für diesen Theil den Widerstand

$$\frac{k}{\mu} \frac{l}{c} = \kappa_1 \frac{l_1}{c_1} \{1 + (0,00366 - \alpha) \tau\}$$

liefern.

Nach der Erfahrung wächst der spezifische Widerstand nicht nur durch Erwärmung, sondern auch durch mechanische Ausdehnung. Auch hierüber giebt unsere Theorie Rechenschaft: denn da μ die pro Volumeinheit des durchströmten Körpers in Strömung versetzte Urstoffmenge oder die Menge der in ihre Urstoffe zerlegten Generatrizen ist; so wird sich dieselbe bei der Ausdehnung dieses Körpers vermindern, weil sich die Menge der in der Volumeinheit liegenden Menge von Generatrizen vermindert. Werden alle Dimensionen des leitenden Körpers durch Ausdehnung in dem Verhältnisse von 1 zu $1 + \delta$, sein Volum also in dem Verhältnisse 1 zu $1 + 3 \delta$ vergrössert; so geht μ in

$\frac{\mu}{1 + 3 \delta} = \mu (1 - 3 \delta)$ und daher der spezifische Widerstand r in $r (1 + 3 \delta)$ über. Der ganze Widerstand des fraglichen Theiles der Leitung wird aber

$$\frac{k}{\mu} \frac{l}{c} \frac{(1 + 3\delta)(1 + \delta)}{1 + 2\delta} = \frac{kl}{\mu c} (1 + 2\delta)$$

Wenn sich durch die Wirkung einer verlängernden Zugkraft die Länge des Drathes in dem Verhältnisse $1 + \delta$ vergrösserte, jede Dimension des Querschnittes aber in dem Verhältnisse $1 - \varepsilon$ sich verkleinerte, also das Volum des Drathes sich in dem Verhältnisse $(1 + \delta - 2\varepsilon)$ vergrösserte; so würde der Widerstand

$$\frac{k}{\mu} \frac{l}{c} \frac{(1 + \delta - 2\varepsilon)(1 + \delta)}{1 - 2\varepsilon} = \frac{k}{\mu} \frac{l}{c} (1 + 2\delta)$$

Hieraus geht hervor, dass der galvanische Widerstand eines durch mechanische Kraft ausgedehnten Drathes doppelt so rasch, als die Längenausdehnung wächst. In einem solchen Drathe, welcher in der Länge Verdünnung, in der Quere aber Verdichtung erleidet, müsste auch der strömende Urstoff in der Stromrichtung sich verdünnen, in der Querrichtung aber sich verdichten. Es leuchtet ein, dass in der Wirklichkeit eine Ausgleichung eintreten wird: nähme der Urstoff nach allen Seiten die der Verlängerung entsprechende Dichtigkeit an; so würde sich der galvanische Widerstand in dem Verhältnisse

$$\frac{(1 + 3\delta)(1 + \delta)}{1 - 2\varepsilon} = 1 + 4\delta + 2\varepsilon$$

vergrössern, d. h. er würde mehr als viermal so stark wachsen wie die Verlängerung des Drathes. Wie es scheint, liegen die Beobachtungsergebnisse sämtlich zwischen den eben bezeichneten Grenzen. Möglicherweise könnte jedoch eine Ausdehnung des leitenden Körpers die Verbindungsbegierde der Urstoffe und dadurch den Widerstand gegen die Scheidung beeinflussen, oder sie könnte, indem sie den Übertritt in das Nachbarelement erleichterte oder erschwerte, den Leitungswiderstand affiziren. Diese Beeinflussung wäre ohne Frage eine der mechanischen Spannung und der Ausdehnung δ proportionale positive oder negative Grösse $\beta\delta$, in Folge deren sich der Widerstand in dem Verhältnisse $(1 + \beta\delta)$ änderte, sodass sich das Änderungsverhältniss

$$\frac{(1 + \beta\delta)(1 + \delta)}{1 - 2\varepsilon} = \{1 + (\beta + 1)\delta + 2\varepsilon\}$$

ergäbe. Wenn man will, kann man für die Grössen δ und ε ihre zur mechanischen Spannung p proportionalen Werthe setzen, also dem obigen Ausdrucke des für die Temperatur τ berichtigten Widerstandes wegen der mechanischen Spannung p einen Faktor von der Form $1 + \gamma p$ hinzufügen, wodurch man

$$\frac{k}{\mu} \frac{l}{c} = x_1 \frac{l_1}{c_1} \{1 + (0,00366 - \alpha)\tau\} (1 + \gamma p)$$

erhält.

Einen wichtigen Gegenstand der Betrachtung bilden die Leiter zweiter Klasse, welche durch den galvanischen Strom zersetzt werden. Das wesentliche Kriterium dieser Körper, welche hauptsächlich binäre chemische Zusammensetzungen zweier Grundstoffe A und B sind, besteht darin, dass in ihnen ausser dem galvanischen Strome der

ätherischen Urstoffe auch ein Voltascher Strom der ponderablen Grundstoffe A und B stattfindet. (Ich unterscheide durch den Ausdruck Voltascher Strom ausdrücklich einen auf dem Austausch ponderabler Stoffe beruhenden Strom von dem galvanischen Strome, worunter ich den reinen Strom von Urstoffen verstehe). Wenn man versucht, diesem Prozesse Rechnung zu tragen, tritt die Unzulänglichkeit der Anschauungen, welche der Ableitung des Ohmschen Gesetzes in seiner ursprünglichen Gestalt zu Grunde liegen, recht deutlich hervor. Die Durchdringung ponderabler Stoffe ist ein mechanischer Bewegungszustand, welcher einen der Reibung oder der Adhäsion analogen Widerstand zu überwinden hat, der sicherlich nicht der Geschwindigkeit proportional, sondern konstant sein wird. Wir bezeichnen diesen Widerstand als den Durchdringungs- oder als den Voltaschen Widerstand zur Unterscheidung von dem bisher betrachteten Leitungs- oder galvanischen Widerstande.

Nach unserer Theorie formulirt sich das Gesetz des galvanischen Stromes, welcher in dem Theile der Leitung von der Länge l und dem Querschnitte c ausser dem mit der Geschwindigkeit b und der Dichtigkeit μ der Urstoffe vor sich gehenden galvanischen Strome auch einen mit der Geschwindigkeit b_0 und der Dichtigkeit μ_0 des positiven oder des negativen ponderablen Stoffes vor sich gehenden Voltaschen Strom führt, folgendermaassen. Während $k b c l \mu$ der auf dieser Strecke zu überwindende galvanische Widerstand ist, hat der zu überwindende Voltasche Widerstand einen Werth von der Form $k_0 c l \mu_0$, der Gesamtwiderstand auf dieser Strecke ist also $k b c l \mu + k_0 c l \mu_0$ und die Arbeit desselben pro Zeiteinheit $k b^2 c l \mu + k_0 b_0 c l \mu_0$. Gesellt sich hierzu noch ein Verlust an lebendiger Kraft der mit der Geschwindigkeit b_0 die Länge l in der Zeiteinheit durchströmenden Masse $b_0 c l \mu_0$, welcher den Werth $\eta b_0^3 c l \mu_0$ hat; so ist die zu verrichtende Arbeit

$$k b^2 c l \mu + k_0 b_0 c l \mu_0 + \eta b_0^3 c l \mu_0$$

Indem wir annehmen, dass die Menge der den Querschnitt c durchströmenden ponderablen Materie $b_0 c \mu_0$ pro Zeiteinheit der Menge der diesen Querschnitt durchströmenden Urstoffe $b c \mu$ proportional, also $i = b c \mu = \beta b_0 c \mu_0$ sei, wird diese Arbeit

$$\frac{k l}{\mu c} i^2 + \frac{k_0 l}{\beta} i + \frac{\eta l}{\beta^3 \mu_0^2 c^2} i^3$$

Hierzu kommen die übrigen in der Kette zu verrichtenden Arbeiten $i^2 \sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1}$. Die Summe aller muss der Summe der Arbeiten der elektromotorischen Kräfte gleich sein, man hat also, wenn diese Kräfte pro Flächeneinheit mit q' bezeichnet werden, sodass ihre Summe $\sum q' c' b' = i \sum \frac{q'}{\mu'}$ ist, die Momentengleichung

$$i \sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{k l}{\mu c} i + \frac{k_0 l}{\beta} + \frac{\eta l}{\beta^3 \mu_0^2 c^2} i^2 = \sum \frac{q'}{\mu'}$$

Wenn der Voltasche Strom wirklich Stosseffekte bedingt, also η einen von null verschiedenen Werth hat, bestimmt sich die Stromstärke

aus einer quadratischen Gleichung. Finden keine Stosseffekte statt; so ist $\eta = 0$, und indem das letzte Glied auf der linken Seite verschwindet, ist i durch eine Gleichung ersten Grades gegeben. Da das in η multiplizierte Glied in der Regel die Rolle eines Korrektionsgliedes spielen wird; so erhält man, wenn i_0 den unkorrigirten Werth für i bezeichnet, welcher sich für $\eta = 0$ ergibt, einen guten Näherungswerth i durch die Formel

$$i = \frac{\sum \frac{q'}{\mu'} - \frac{k_0 l}{\beta}}{\sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{k l}{\mu c} + \frac{\eta l i_0}{\beta^3 \mu_0^2 c^2}}$$

Wären die Stosseffekte in einem Leiter von konstantem Querschnitte unbedeutend oder gar nicht vorhanden; so würde die Formel für die Stromstärke

$$i = \frac{\sum \frac{q'}{\mu'} - \frac{k_0 l}{\beta}}{\sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{k l}{\mu c}}$$

Ehe wir weitergehen, sprechen wir die Ansicht aus, dass der mit k_0 bezeichnete Durchdringungswiderstand nicht bloss die zersetzbaren, sondern auch die nicht zersetzbaren Leiter zweiter Klasse kennzeichnet.

Die Beobachtungen über den Widerstand der Leiter zweiter Klasse bei wachsender Temperatur sind so registriert, wie wenn dafür das Ohmsche Gesetz gälte, d. h. so, wie wenn die Formel

$$i = \frac{\sum \frac{q'}{\mu'}}{\sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{K l}{\mu c}}$$

Gültigkeit hätte. Eine Gleichsetzung dieser beiden Werthe von i ergibt für den ideellen spezifischen Widerstand $\frac{K}{\mu}$

$$\frac{K}{\mu} = \frac{\frac{k}{\mu} \sum \frac{q'}{\mu'} + \frac{k_0 c}{\beta} \sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1}}{\sum \frac{q'}{\mu'} - \frac{k_0 l}{\beta}}$$

Berücksichtigt man jetzt die Temperatur $t = 273 + \tau$ des Stückes der Kette, welches einen Leiter zweiter Klasse von der Länge l bildet, so haben wir schon vorhin erörtert, dass der Leitungswiderstand k direkt wie die natürliche Temperatur t variirt; der Widerstand, welchen die ponderabelen Stoffe ihrer Durchdringung entgegensetzen, wird jedoch ohne Frage mit wachsender Temperatur schwächer werden und ihrer durch die Erwärmung bedingten Erweichung entsprechen.

Substituirt man daher für k einen Ausdruck von der Form mt und für k_0 einen Ausdruck von der Form $\frac{n}{t}$; so erhält man

$$\frac{K}{\mu} = \frac{At^2 + B}{t - C}$$

Der Koeffizient A ist durch den galvanischen Strom, die Koeffizienten B und C sind durch den Voltaschen Strom bedingt. Dieser Ausdruck ändert seine allgemeine Form nicht, wenn man die natürliche Temperatur $t = 273 + \tau$ mittelst der Celsius'schen Temperatur τ bestimmt. Wählt man die Koeffizienten so, dass

$$\frac{K}{\mu} = \frac{0,001t^2 + 1200}{t - 472,5}$$

ist; so ergeben sich für die gewöhnlichen Temperaturen $\tau = 200, 300, 400$ Grad oder für die natürlichen Temperaturen $t = 473, 573, 673$ Grad, die spezifischen Widerstände 2846, 15, 8. Dieselben entsprechen nahezu den von Buff über den Leitungswiderstand des Glases (cfr. Wiedemann's Lehre vom Galvanismus, S. 176) beobachteten Werthen 2582, 17, 8 bestätigen also die Zulänglichkeit der gemachten Voraussetzungen.

Für die Temperatur $t = C = \frac{nl}{\beta \sum \frac{q'}{\mu'}}$ wird der ideelle Wider-

stand K unendlich gross. Die Formel für i lehrt, dass in diesem Falle die Stromstärke gleich null wird, dass also eine gegebene elektromotorische Kraft q' in einem Leiter zweiter Klasse nur dann einen Strom erzeugt, wenn dessen Temperatur ein gewisses Minimum übersteigt, das direkt mit der Länge l und indirekt mit der Spannung q' variirt. Diese Formel zeigt aber zugleich, dass für jede nochso kleine Temperatur dennoch ein Strom möglich ist, wenn nur eine hinreichend starke elektromotorische Kraft angewandt wird, dass also jeder Körper von jeder Länge l , mag er ein nochso schlechter Leiter sein, durch eine hinreichend starke elektromotorische Kraft durchbrochen wird, oder dass absolute Isolatoren nicht existiren.

Für die natürliche Temperatur $t = 2C$, welche doppelt so gross ist, als die eben erwähnte, wird der ideelle Widerstand K ein Minimum; bei höheren Temperaturen wächst derselbe in Folge der Steigerung des Widerstandes der Leiter erster Klasse über jede Grenze hinaus.

Gäbe es einen vollkommenen Leiter erster Klasse, d. h. einen Körper, welcher dem Strome nur einen galvanischen Widerstand entgegensezte; so wäre für denselben B und C gleich null, also der Widerstand $\frac{K}{\mu} = \frac{mt}{\mu}$. Gäbe es einen vollkommenen Leiter zweiter Klasse, d. h. einen Körper, welcher dem Strome nur einen Voltaschen Widerstand entgegensezte; so wäre für denselben A gleich null, also der Widerstand $\frac{B}{t - C}$, oder vielmehr, die Stromstärke hätte den Werth

$$i = \frac{\sum \frac{q'}{\mu'} - \frac{n l}{\beta t}}{\sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1}}$$

Kein Körper gehört ausschliesslich der einen, oder der anderen Klasse an. Jeder Körper lässt bei genügend starker elektromotorischer Kraft einen Strom hindurch, und jeder Körper erzeugt auch meines Erachtens bei dem Durchgange des galvanischen Stromes einen Voltaschen Strom, d. h. die strömenden Urstoffe bewirken auch in jedem metallischen Leiter eine wennauch noch so schwache Verschiebung oder Strömung der ponderablen Masse nach entgegengesetzten Seiten; sowohl der positive, als auch der negative Urstoff zieht im Strome eine geringe Menge ponderabler Masse mit sich.

Für einen Leiter zweiter Klasse liefert der Koeffizient $k_0 = \frac{n}{t}$ in dem Ausdrücke der Stromstärke i ein negatives Glied $-\frac{k_0 l}{\beta} = -\frac{n l}{\beta t}$ im Zähler, welches dieselbe Wirkung hat, wie eine Verminderung der elektromotorischen Kraft oder wie eine entgegengesetzte elektromotorische Kraft. Da die Polarisation, welche aus der Ablagerung der durch den Voltaschen Strom über die Enden des Leiters hinaus geschobenen chemischen Bestandtheile des Letzteren an den Elektroden entspringt, ganz ebenso wirkt; so kombiniren sich die Wirkungen dieser beiden Kräfte. Bezeichnet p den Werth der Polarisation; so ist für die Fälle, wo sie auftritt, in dem Ausdrücke für i statt $\frac{n l}{\beta t}$

$$\frac{n l}{\beta t} + p = P$$

zu setzen. Der Werth von P verkleinert sich bei steigender Temperatur, selbst wenn die Polarisation p konstant bleibt. Wenn also die jetzige Theorie die Verminderung der elektromotorischen Kraft, welche auf dem Widerstande des Leiters zweiter Klasse beruht, für die Wirkung der Polarisation hält, wird sie die irrthümliche Meinung verbreiten, dass die Polarisation mit zunehmender Temperatur abnehme. In der That, liefert die Formel

$$P = \frac{92335,5}{t} + 279,4$$

für die gewöhnlichen Temperaturen $\tau = 16, 57\frac{1}{2}, 94$ Grad, also für die Werthe der natürlichen Temperaturen $t = 289, 310\frac{1}{2}, 367$ Grad die Werthe $P = 598,9; 576,7; 531$, welche den Beobachtungen von Robinson (Wiedemann S. 491) entsprechen, und die Formel

$$P = \frac{9152}{t} + 16,2$$

liefert für $\tau = 20, 60, 100$ Grad oder für $t = 293, 333, 373$ Grad die Werthe $47,4; 43,7; 40,7$, welche den Beobachtungen von Beetz (Wiedemann S. 492) entsprechen.

Diese Bestätigung durch die Erfahrung dürfte den Schluss rechtfertigen, dass die Polarisation von der Temperatur unabhängig sei.

Wenn der Durchgang des Stromes durch einen Leiter zweiter Klasse mit Verlusten an lebendiger Kraft verbunden ist; so erscheint im Nenner des Näherungswerthes für die Stromstärke i ein positives

Glied von der Form $\frac{\eta l i_0}{\beta^3 \mu_0^2 c^2}$. Durch ähnlich gebildete Glieder sind

auch diejenigen Verluste darzustellen, welche durch plötzliche Querschnittserweiterungen entstehen und sogenannte Übergangswiderstände bilden. Übrigens werden die durch plötzliche Veränderung des Querschnittes c_0 in c_1 oder der Stromgeschwindigkeit b_0 in b_1 entstehenden Verluste an lebendiger Kraft genauer durch

Glieder von der Form $\vartheta (b_0 - b_1)^2 b_1 c_1 \mu_1 = \vartheta \left(\frac{b_0}{b_1} - 1 \right)^2 b_1^3 c_1 \mu_1$

$= \vartheta \left(\frac{\beta_1 \mu_1 c_1}{\beta_0 \mu_0 c_0} - 1 \right)^2 \frac{i^3}{\beta_1^3 \mu_1^2 c_1^2}$ in der Momentengleichung ausgedrückt.

Würde ein solches Glied wie ein Polarisationsseffekt p' aufgefasst, also für $c_0 = x$ der richtige Ausdruck von der Form

$$i = \frac{a - p}{b + d \left(\frac{e}{c_0} - 1 \right)^2 i_0}$$

in die Form $i = \frac{a - p - p'}{b}$ gebracht; so ergibt sich für den fingirten Polarisationsseffekt p' der Ausdruck

$$p' = \frac{(a - p) d \left(\frac{e}{c_0} - 1 \right)^2 i_0}{b + d \left(\frac{e}{c_0} - 1 \right)^2 i_0}$$

Für $c_0 = 0$ nimmt p' einen Maximalwerth $a - p$ an, für welchen die Stromstärke $i = 0$ wird. Für $c_0 = \infty$ nimmt p' einen zweiten

Maximalwerth $\frac{(a - p) d i_0}{b + d i_0}$ an. Zwischen diesen beiden Maximen liegt

für $c_0 = e$ oder für $b_0 = b_1$, d. h. für den Fall, wo keine plötzliche Querschnitts- und Geschwindigkeitsänderung eintritt, das Minimum $p' = 0$. Alle diese Resultate entsprechen der Wirklichkeit so augenscheinlich, dass man annehmen darf, die Polarisation pro Flächeneinheit sei auch von der Grösse der Elektroden unabhängig.

Der vorstehende Ausdruck für p' ist für eine unendlich kleine Stromstärke $i_0 = 0$ ebenfalls gleich null und wächst mit der Stromstärke. Übrigens ist zu erwägen, dass die Stromstärke bei konstant bleibenden Dimensionen nur durch Verstärkung der elektromotorischen Kräfte wachsen kann, dass man also i_0 durch den Näherungswerth

$\frac{a - p}{b}$ zu ersetzen und die Wirkungen der Veränderungen von a

und b zu konstatiren hat. Da das Wachsthum der fingirten Polarisation p' mit der Stromstärke der Beobachtung entspricht, jedoch nur das Resultat der Transformation der Formeln ist; so darf angenommen werden, dass die eigentliche Polarisation sowohl von der Temperatur, als auch von der Grösse der Elektroden und endlich von der Stromstärke unabhängig sei.

Verursacht nicht nur der Übergang zu einem anderen Querschnitte, sondern auch die Strömung in einer Leitung zweiter Klasse mit konstantem Querschnitte einen Verlust an lebendiger Kraft; so sind in der Momentengleichung selbstredend die entsprechenden Glieder $\sum \frac{\eta l i^2}{\beta^3 \mu_0^2 c^2}$ zu berücksichtigen.

In Beziehung auf die Leiter zweiter Klasse sprechen wir noch die Ansicht aus, dass sich der durch den Koeffizienten k_0 vertretene Voltasche Widerstand nicht nur mit abnehmender Temperatur, sondern auch mit zunehmender Dichtigkeit proportional verstärkt, dass also, wenn t die natürliche Temperatur des Leiters und δ seine Dichtigkeit bezeichnet, allgemein $\frac{k_0 \delta}{t}$ für k_0 zu setzen ist. Für Gase ist bei gleich bleibender Temperatur die Dichtigkeit dem äusseren Drucke p proportional, sodass man für solche Körper auch $\frac{k_0 p}{t}$ für k_0 substituiren kann.

Man erkennt hieraus, dass jedes Gas, wie gross auch der Koeffizient k_0 sei, d. h. wie schlecht auch seine Leitungsfähigkeit bei der Dichtigkeit 1 für eine gegebene Temperatur t sei, doch bei einem gewissen Grade der Verdünnung, nämlich dann, wenn $\frac{k_0 \delta}{t}$ kleiner als die gegebene elektromotorische Spannung $\sum \frac{q'}{\mu'}$ wird, leitend wird.

Während übrigens mit abnehmender Dichtigkeit auch der Voltasche Widerstand k_0 abnimmt, wächst nach dem Früheren der Leitungswiderstand k . Indem man k_0 in $\frac{k_0 p}{t}$ verwandelt, muss man also auch zugleich $\frac{k}{\mu}$ in $\frac{k t}{\mu \delta}$ verwandeln. Hieraus geht hervor, dass die Intensität des von der elektromotorischen Kraft $\sum \frac{q'}{\mu'}$ in einem Gase erzeugten Stromes bei stark verminderter Dichtigkeit abnimmt. Die Intensität hat jetzt, wenn wir die Stosseffekte ausser Acht lassen, den Werth

$$i = \frac{\sum \frac{q'}{\mu'} - \frac{k_0 \delta l}{t}}{\sum \frac{k_1 l_1}{\mu_1 c_1} + \frac{k t l}{\mu \delta c}} = \frac{A - B \delta}{C + \frac{D}{\delta}}$$

Die Stromstärke wird also sowohl für die Dichtigkeit

$\delta = \frac{A}{B}$, als auch für die Dichtigkeit $\delta = 0$ gleich null und nimmt für eine zwischen diesen beiden Werthen liegende Dichtigkeit ein Maximum an. Hieraus wird erklärlich, warum Luft, welche bei atmosphärischer Spannung unter dem Drucke einer mässigen elektromotorischen Kraft nicht leitet, in einem gewissen Zustande der Verdünnung gut leitet (die glänzenden Geisslerschen Lichterscheinungen ermöglicht), bei weiter gesteigerter Verdünnung ihre Leitungsfähigkeit aber wieder verliert.

Für den freien Äther ist der Voltasche Widerstand als unendlich gross zu erachten, sodass in ihm, also auch im Vakuum kein Strom möglich ist.

9. Wesen des elektrischen Prozesses.

Wir charakterisiren den elektrischen Prozess durch folgende Sätze.

1) Jede elektrische Bewegung ist Strom, und zwar, als dauernder Strom, eine sich beliebig oft erneuernde Reihe von wirklichen Verbindungen und Trennungen der Urstoffe in den benachbarten Generatrizen oder, als vorübergehender Stromschlag, eine aus der Tendenz zu solchen Verbindungen und Trennungen entspringende Verschiebung oder Verdichtung der Urstoffe in ihren Generatrizen.

2) Durch endliche Kräfte kann in der Volumeinheit irgend eines ponderabelen Körpers nur eine unnennbar kleine Menge von Materie in die Urstoffe zerlegt werden.

Man kann annehmen, dass immer ganze Generatrizen der Materie in ihre Urstoffe zersetzt werden, dass also von der unendlichen Anzahl von Generatrizen, welche jedes Atom des Körpers und welche jede Volumeinheit desselben enthält, nur eine endliche Zahl zerlegt werde.

3) Nach S. 107 des ersten Supplementes zum zweiten Theile der Naturgesetze enthält die Generatrix aller ponderabelen Körper dieselbe Äthermenge; die Zerlegung einer Generatrix in ihre Urstoffe erzeugt also, wo sie auch vor sich gehen möge, stets eine bestimmte Menge freien positiven und negativen Urstoff $+e$ und $-e$.

4) Der geschiedene positive und der geschiedene negative Urstoff einer Generatrix tritt in allen Prozessen als eine zusammenhaltende untheilbare Masse auf. Man kann eine solche Masse wie $+e$ nach und nach beliebig viel Mal mit verschiedenen $-e$ verbinden und wieder abscheiden, ohne dass sich ihre Identität ändert.

5) Wenn der positive Urstoff $+e$ den negativen Urstoff $-e$ in dem Raume einer leeren Generatrix eines ponderabelen Körpers ohne hindernde Kräfte durchdringt, verbinden sich beide zu Äther, welcher unter dem Einflusse der benachbarten Generatrizen ganz die Struktur derselben annimmt, also ein Element des Stoffes dieses Körpers wird.

6) Wenn eine Generatrix durch eine elektrische Kraft in ihre Urstoffe $+e$ und $-e$ geschieden wird, trennen sich diese Urstoffe unter der Wirkung dieser trennenden Kraft im Raume dieser Generatrix zunächst auch örtlich.

7) In dieser Trennung sind die Urstoffe beweglich, d. h. sie können aus dem Raume der ersten Generatrix in den Raum einer benachbarten Generatrix übergeführt werden. Eine solche Bewegung ist jedoch nur möglich, wenn sich daran ähnliche elementare Bewegungen von Generatrix zu Generatrix anschliessen, welche eine in sich zusammenlaufende Linie bilden. Dieser Kreislauf begründet sich dadurch, dass frei gemachter Urstoff keinen gleichnamigen Urstoff, von welchem er abgestossen wird durchdringt, ferner, dass er keinen ungleichnamigen Urstoff durchdringt, ohne sich mit demselben zu Äther zu verbinden, endlich, dass er keine ponderabele Materie durchdringt, ohne dieselbe zu scheiden, sich mit dem ungleichnamigen zu verbinden und den gleichnamigen hinwegzutreiben.

8) Demzufolge kann der einseitige Urstoff einer Generatrix, nachdem er von dem entgegengesetzten Urstoffe geschieden ist, diese Generatrix nicht verlassen, ohne dass anderer Urstoff von gleicher Menge in dieselbe eintritt. Eine jede Generatrix aller ponderabelen Weltmaterie bleibt daher immer angefüllt mit einer ihrer Äthermasse gleichen Urstoffmenge, sie kann sich übrigens ebensowohl mit $+e$, $-e$, als auch mit $+e$, $+e$, als auch mit $-e$, $-e$ anfüllen.

9) Der im Satz 7 erwähnte Kettenschluss der elektrischen Bewegung ist ein Erforderniss, wenn sich die Materie, in welcher die Bahn liegt, im natürlichen Zustande befindet, wo jede Generatrix mit $+e$, $-e$ erfüllt ist. Befinden sich jedoch in dieser Materie Generatrizen, welche ganz mit einunddemselben Urstoffe, z. B. mit $+e$, $+e$ gefüllt (positiv elektrisch geladen) sind; so kann natürlich zwischen einer solchen Generatrix A und jeder anderen Generatrix B , welche entweder neutral ist, also $+e$, $-e$ enthält, oder welche ganz mit $-e$, $-e$ erfüllt ist, eine elektrische Bewegung stattfinden, indem auf der ganzen Linie AB positiver Urstoff von A gegen B und negativer Urstoff von B gegen A sich bewegt, was zur Folge hat, dass bei A eine neutrale Generatrix $+e$, $-e$, bei B aber im ersten Falle eine positiv geladene Generatrix $+e$, $+e$ und im zweiten Falle eine neutrale Generatrix entsteht.

10) Verbindung der Urstoffe ist der positive, Trennung oder Scheidung derselben der negative elektrische Grundprozess; derselbe vollzieht sich in einundderselben Generatrix, er bildet und zersetzt Generatrizen. Verschieden von ihm ist der galvanische Prozess, welcher sich als Beziehung zwischen den Urstoffen zweier benachbarten Generatrizen oder als Austausch der Grundstoffe äussert. Der Austausch erfordert allerdings eine Überwindung der Affinität der Urstoffe und sodann wieder eine Sättigung und insofern eine momentane Aufhebung und Wiederherstellung der chemilogischen Verbindung, aber doch keine örtliche Sonderung und Wiederezusammenführung der Urstoffe, sondern eine Verschiebung derselben nach entgegengesetzten Seiten zwischen den Nachbargeneratrizen unter abwechselnder Lösung und Schliessung der stofflichen Gemeinschaft.

11) Dem eigentlichen elektrischen Prozesse, d. h. der örtlichen Trennung der Urstoffe in derselben Generatrix geht eine Verdichtung und Verdünnung derselben vorher, indem sich der positive Urstoff an

der einen Seite verdichtet und an der anderen verdünnt, erfährt der negative Urstoff an der ersteren Seite eine Verdünnung und an der letzteren eine Verdichtung, es trennen sich also ihre Schwerpunkte vor der wirklichen Scheidung. Diese Verrückung der Schwerpunkte der Urstoffe in einer Generatrix hat sofort eine ähnliche Verrückung der Schwerpunkte oder eine ähnliche Verdichtung in den benachbarten Generatrizen zur Folge, weil sich durch die Verrückung in der ersten Generatrix die Anziehungs- und Abstossungskraft ändert, welche diese Generatrix auf ihre Nachbarn ausübt.

12) Da die zwischen gleichnamigen Urstoffen sich äussernde Abstossung und die zwischen ungleichnamigen Urstoffen sich äussernde Anziehung umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung ihrer Schwerpunkte variirt; so bedingt jede Entfernung der Schwerpunkte der Urstoffe einer Generatrix einen ähnlichen Prozess in den benachbarten Generatrizen. In denjenigen Generatrizen, welche in der Richtung der Verrückungslinie liegen, vertheilen sich durch diese Induktion die Urstoffe ganz wie in der induzirenden Generatrix, in den übrigen Generatrizen hängt die Vertheilung der Urstoffe nach §. 373 von der Lage gegen die erste Generatrix dergestalt ab, dass in den eine geschlossene Linie bildenden Generatrizen der positive Urstoff nach der einen und der negative Urstoff nach der anderen Seite verrückt erscheint.

13) Dem galvanischen Austausch der Urstoffe zwischen benachbarten Generatrizen geht eine relative Verschiebung unter Spannung voraus, welche mit der mechanischen Abscherungstendenz verglichen werden kann. Auch eine solche galvanische Spannung, weil sie eine Verrückung der Schwerpunkte involvirt, ruft induktorisch Trennungstendenzen in den benachbarten Generatrizen hervor. Diese Induktionswirkung, welche eine Verschiebung der Urstoffe auf die Generatrizen eines die Bewegung hindernden Isolators äussert, ist jedoch etwas ganz Anderes, als die Fortpflanzung dieser Verschiebung durch einen die Bewegung ermöglichenden Leiter. Nach dem Satze (7) kann ein partielles Hinüberschieben der Urstoffe von einer Generatrix zur anderen ebensowenig wie ein vollständiges Hinüberschieben erfolgen, ohne in einer geschlossenen Linie den positiven Urstoff hin- und den negativen herzutreiben.

14) In einem räumlichen Körper giebt es unendlich viel geschlossene Linien, in welchen eine galvanische Bewegung vor sich gehen kann; sie treten sämmtlich mit einem ihrem Widerstande entsprechenden Grade in Wirksamkeit. Der kleinstmögliche Kreislauf, welcher vorkommen kann, ist der zwischen zwei benachbarten Generatrizen A und B vorkommende Austausch von Urstoffen. Ist A ganz mit positiver Elektrizität $+ 2e$ und B ganz mit negativer Elektrizität $- 2e$ angefüllt; so geht $+ e$ von A nach B und $- e$ von B nach A über, um in A und B zwei neutrale Generatrizen zu bilden. Ist A und B durch einen Isolator getrennt, aber auf der anderen Seite durch einen Leiter ACB verbunden; so erfolgt diese Vereinigung nach (9), indem auf der ganzen Linie ACB positiver Urstoff von A gegen B und auf derselben Linie negativer Urstoff von B gegen A vorrückt.

15) Ursprünglich war alle Weltmaterie neutral, es existierte in den Generatrizen aller Körper dieselbe Menge positiver und negativer Urstoff. Trennung der Urstoffe und Anhäufung von lauter positivem Urstoff $+e$, $+e$ in gewissen Generatrizen, zugleich aber Anhäufung von lauter negativem Urstoff $-e$, $-e$ in einer gleichen Zahl anderer Generatrizen ist die Wirkung elektromotorischer Kräfte. Wird dem neutralen zylindrischen Körper AB (Figur 13) der isolirte positive Urstoff C gegenübergestellt; so ist die nächste Wirkung der Induktion, dass in der Vorderfläche A des Körpers AB eine von der Masse und Entfernung des Urstoffes C und von der Beschaffenheit des Körpers AB abhängige Anzahl von Generatrizen in ihre Urstoffe $+e$, $-e$ geschieden und dass in diesen Generatrizen alle negativen Urstoffe $-e$ nach vorn gezogen und alle positiven Urstoffe nach hinten getrieben werden. Unter der fortdauernden Anziehung, welche C auf negativen Urstoff ausübt und der Abstossung, welche C auf den positiven Urstoff ausübt, erfolgt in dem Körper AB ein Austausch der Urstoffe zwischen den vorderen und hinteren Generatrizen dergestalt, dass positiver Urstoff von A gegen B und negativer Urstoff von B gegen A getrieben wird, also ein momentaner positiver Strom AB entsteht. Das Resultat ist, dass alle Generatrizen der Fläche A , in welcher die Urstoffe geschieden waren, sich mit negativem Urstoffe und ebenso viel Generatrizen in der Hinterfläche sich mit positivem Urstoffe füllen (Figur 14). Wegen der unendlichen Zahl der Generatrizen, welche in jeder endlichen Fläche liegen und wegen der gegenseitigen Überschneidung der benachbarten Generatrizen erscheint der entbundene Urstoff an den Enden des Körpers AB nicht als ein Inbegriff isolirter Körner, sondern als eine zusammenhängende Masse von grösserer oder geringerer Dichtigkeit.

16) Die zwischen den vorderen und hinteren Generatrizen und dem Urstoffe C entstehenden Attraktionen und Repulsionen müssen mit den zwischen ihnen und den übrigen Theilen des Körpers AB sich bildenden Induktionskräften, sowie mit den ebenfalls auf Induktion beruhenden Widerständen der umliegenden Isolatoren ein elektrisches Gleichgewicht bilden, welches theils die entbundenen Urstoffmengen, theils ihre Spannungen oder ihren Zug und Druck in den verschiedenen Richtungen mitbedingt. Ist die Länge AB des Körpers AB verschwindend klein; so wird der in der Vorderfläche A festgehaltene Urstoff von C ebenso stark angezogen, wie der an die Hinterfläche B getriebene Urstoff abgestossen wird; beide äussern also gleichen Druck nach aussen. Ist jedoch der Körper AB unendlich lang (oder mit der Erde in leitender Verbindung); so ist die Attraktion zwischen den Urstoffen A und C viel stärker, als früher, weil die Wirkung des Urstoffes B auf A und C annullirt ist; demgemäss äussert der bei A festgehaltene Urstoff stärkeren Druck gegen die Vorderfläche als früher.

Attraktion und Repulsion bedingen die Spannung des Urstoffes und demzufolge auch seine Dichtigkeit in jedem Punkte. Im Allgemeinen wird sich der Urstoff bei A oder B wohl in einer sehr dünnen Schicht, aber doch nicht in einer Fläche ausbreiten, vielmehr wird er in der Fläche A am dichtesten sein und nach dem Inneren des Körpers

AB eine rasch abnehmende Dichtigkeit zeigen, d. h. jeder spätere mit A parallele Querschnitt des Körpers wird eine kleinere Anzahl ganz mit einseitigem Urstoffe angefüllter Generatrizen enthalten.

17) Durchschneidet man den Körper AB nach der vorstehenden Vertheilung der Elektrizitäten, beseitigt den hinteren Theil mit der positiven Ladung, sowie auch den induzirenden Urstoff C ; so bleibt der Körper AD (Figur 15) zurück, welcher an der Vorderfläche mit negativer Elektrizität geladen ist. Diese Elektrizität ist unter ihren Repulsionskräften mit den zwischen ihr und den übrigen Theilen des Körpers AD sich bildenden Spannungen nicht im Gleichgewichte. Es entsteht daher unter dem Drucke der nicht equilibrirten elektrischen Kräfte ein Austausch von Urstoffen, in Folge dessen schliesslich die Hälfte der Generatrizen an der Vorderfläche A und die andere Hälfte an der Hinterfläche D mit negativem Urstoffe gefüllt erscheint (Figur 16). Diese Bewegung, bei welcher negativer Urstoff von A gegen D und positiver Urstoff von D gegen A vordringt, ist ein momentaner negativer Strom.

18) Sobald mit diesem Körper AD ein neutraler Leiter in Berührung kömmt, vertheilt sich der freie negative Urstoff aus dem eben angeführten Grunde über das System Beider. Enthält der zweite Leiter freien positiven Urstoff; so tritt Verbindung gleicher Mengen des freien positiven und negativen Urstoffes zu neutraler Materie ein. Durch eine solche Verbindung freier Elektrizitäten wird also immer der Körperstoff ergänzt, welcher bei der Befreiung derselben momentan aufgelös't war.

19) Durch Elektrisirung wird hiernach momentan eine unendlich kleine Menge ponderabler Materie zerstört, gleichwohl bewahrt jeder elektrisirte ponderabele Körper fortwährend die ursprüngliche Urstoffmenge, enthält jedoch momentan mehr des einen, als des anderen Urstoffes, indem seine Generatrizen stets ganz mit Urstoff gefüllt bleiben. Gelegentlich stellt sich durch Verbindung der freien Elektrizitäten nicht nur die ponderabele Masse, sondern auch der Stoffgehalt wieder her. Obgleich sich die Urstoffmenge eines Körpers durch Elektrisirung nicht ändert; so variirt doch sein Gewicht. Ein einseitiges Urstofftheilchen gravitirt nicht gegen die neutrale Materie. Demnach ist ein mit freier Elektrizität geladener Körper, wenn von seiner Influenzwirkung abgesehen wird, leichter, als im neutralen Zustande: da jedoch eine jede Generatrix nur eine unendlich kleine Masse enthält; so ist der Gewichtsunterschied ein unmerkbarer.

20) Niemals nimmt eine Generatrix von einseitigem Urstoffe mehr als das Doppelte der Menge auf, welche sie in neutralem Zustande enthält, indem immer nur ein Sozus $+e$ oder $-e$ durch ein $+e$ oder ein $-e$ ersetzt werden kann. Die Verdichtung und Verdünnung der freien Elektrizität besteht daher immer nur in der Vermehrung oder Verminderung der an der Oberfläche des geladenen Körpers zwischen den neutralen Generatrizen vertheilt liegenden ganz mit einseitigem Urstoff angefüllten Generatrizen.

21) Mit dieser Verdichtung wächst die Repulsionsspannung zwischen den geladenen Generatrizen und selbstredend die Induktionswirkung auf

die benachbarten neutralen Generatrizen. Diese Induktion ist immer zugleich Anziehung gegen den ungleichnamigen und Abstossung gegen den gleichnamigen Urstoff. Einseitig geladene Generatrizen können in der Oberfläche eines Leiters nur existiren, weil der angrenzende Körper ein Isolator ist oder den Urstoffen in seinen Generatrizen den Aus- und Eintritt nur unter dem Zwange einer hinreichend starken elektrischen Spannung gestattet. Erreicht also diese Spannung durch die Induktion der freien Elektrizität des angrenzenden Leiters den ausreichenden Grad; so wird der Widerstand des Isolators gebrochen, es erfolgt elektrische Bewegung. Diese Bewegung ist aber keine einseitige, also nicht bloss ein Austritt der freien Elektrizität aus dem Leiter, sondern ein gleichzeitiger Eintritt der entgegengesetzten Elektrizität.

22) Nach elektrostatischen Gesetzen muss sich die freie Elektrizität eines Leiters in einem spitzenförmigen Theile seiner Oberfläche nothwendig anhäufen, also eine stärkere Spannung annehmen, welche schliesslich den Widerstand der Spitze überwindet. Niemals aber strömt freie Elektrizität aus der feinsten Spitze aus, ohne entgegengesetzte Elektrizität von gleicher Menge einzusaugen. Hieraus erklärt sich auch, warum das sogenannte Ausströmen von Elektrizität aus Spitzen unter Lichtentwicklung niemals das Aussehen eines flüssigen Spritzenstrahles, sondern das eines nach allen Richtungen geradlinig radiirenden Stromes hat. Eine feine Spitze, wenngleich ihr Widerstand in axialer Richtung am schwächsten ist, hat doch auch in den Seitenrichtungen nur einen schwachen Widerstand, und da jede Generatrix ihre Induktion nach allen Richtungen rings um sich herum geradlinig ausübt, werden auch ausser der axialen Bewegung viele Bewegungen in schrägen, jedoch stets geraden Linien erfolgen. (Das Abstossen eines Urstofftheilchens ist mit einem mechanischen Rückstosse begleitet, auch das Einspringen eines entgegengesetzten Urstofftheilchens äussert einen Stosseffekt in der Richtung jenes Rückstosses; die Erscheinung des elektrischen Flugrades erklärt sich daher, ohne dass ein einseitiges Ausströmen von Elektrizität angenommen zu werden braucht). Die Saugspitzen einer Elektrisirmaschine saugen nicht bloss ein, sondern hauchen auch aus. Dem einschlagenden Blitze fliegt die entgegengesetzte Elektrizität entgegen, und hieraus erklärt sich die kegelförmige Anhäufung von geschmolzenem Kupfer auf der Oberfläche eines Telegraphendrathes, in welchen der Blitz eingeschlagen hat.

23) Wenn in dem Punkte C des Leiters AB (Figur 17) die Urstoffe durch eine elektromotorische Kraft so geschieden werden, dass der positive Urstoff gegen B und der negative gegen A getrieben wird; so pflanzt sich von C aus ein positiver Strom in der Richtung CB und ein negativer Strom in der Richtung CA fort. In allen Punkten, welche der Strom erreicht, wandert also positiver Urstoff nach rechts und negativer nach links. Obgleich nun der Strömungsprozess in allen erreichten Punkten dieselbe Beschaffenheit hat; so unterscheidet sich der Stromtheil CB von dem Stromtheil CA doch dadurch, dass in dem ersteren, überhaupt in einem positiven Strome, der positive Urstoff, indem er vorwärts drängt, den Impuls zur Scheidung der Urstoffe und zur Fort-

pflanzung des Stromes giebt, wogegen in einem negativen Strom CA der negative Urstoff, indem er vorwärts drängt, den Impuls zur Fortpflanzung giebt. Im positiven Strom ist der Fortschritt des positiven Urstoffes die primäre und der Rückschritt des negativen Urstoffes die sekundäre Bewegung, welche erst durch das Vordringen des positiven Urstoffes veranlasst wird; im negativen Strome hingegen ist der Fortschritt des negativen Urstoffes der primäre und der Rückschritt des positiven Urstoffes der sekundäre, durch jenen Fortschritt erst veranlasste Prozess.

Wenn sich der Leiter AB kettenförmig schliesst; so begegnen sich die beiden entgegengesetzten Ströme in einem Zwischenpunkte D .

24) Zwei verschiedene ponderabele Stoffe haben vermöge ihrer Qualitätsverschiedenheit eine bestimmte Affinität, d. h. eine Neigung zur Bildung einer Stoffgemeinschaft oder chemischen Verbindung. Primäre Affinität ist elektrische Spannung, dieselbe kann durch die Abszissen einer chemischen Grundaxe gemessen werden (vergl. §. 286). Jeder Stoff nimmt eine bestimmte Stelle im Stoffgebiete, welches wir chemischen Raum genannt haben, ein, er besitzt also zunächst eine bestimmte Abszisse in der chemischen Grundaxe. Die Differenz der Abszissen von zwei Stoffen macht ihre elektrische Spannung gegeneinander aus und bezeichnet die Vivazität ihrer Verbindungsbegierde. Ohne Frage beruht die elektrische Spannung der chemischen Stoffe auf einem Verhalten der in ihnen enthaltenen Urstoffe und indem sie (in unverbundenem Zustande) ihre Affinität als Verbindungsbegierde äussern, entbinden sie aus ihren Massen gewisse Mengen von Urstoff, welche unter sonst gleichen Umständen ihrer elektrischen Spannung proportional sind, übrigens von ihrer Entfernung und anderen Dingen abhängen. Der elektropositive Körper zieht im elektronegativen Körper den entbundenen negativen Urstoff an und stösst den entbundenen positiven Urstoff ab; der elektronegative Körper zieht im elektropositiven Körper den entbundenen positiven Urstoff an und stösst den entbundenen negativen Urstoff ab, und an der Qualität des im anderen Körper gebundenen Urstoffes erkennt man die Stellung der beiden Körper gegeneinander.

Ist in Figur 18 AB ein Stück Zink und CD ein davon isolirtes Stück Kupfer; so zieht das Zink im Kupfer den negativen Urstoff bei C an und stösst den positiven nach D hin ab, während das Kupfer im Zink den positiven Urstoff bei B anzieht und den negativen nach A hin abstösst. Zink verhält sich daher gegen Kupfer elektropositiv.

Indem das positive Zink im Kupfer den positiven Urstoff abstösst, erzeugt dasselbe darin momentan einen von C nach D laufenden positiven Strom. Das negative Kupfer erzeugt im Zink einen von B nach A laufenden negativen Strom. Letzterer ist einem entgegengesetzt laufenden positiven Strome äquivalent, die Ströme im Zink und im Kupfer sind daher gleichgerichtete Ströme, sie unterscheiden sich aber durch den Urstoff, welcher den Impuls zur Fortpflanzung giebt, ausserdem durch ihre Intensität.

Werden die Enden D und A durch eine Leitung DEA verbunden; so sammeln sich die abgestossenen Urstoffe nicht bei D und A an,

sondern verbinden sich durch Fortpflanzung des Stromes bei *E*. In der ganzen Leitung *DEA* entsteht also momentan ein Strom, in welchem aller Orten der positive Urstoff sich vom Kupfer *D* in der Richtung *DEA* gegen das Zink hin bewegt. Dieser Prozess, welcher den Anschein gewährt, als ob der positive Urstoff, da er sich gegen das Zink hin bewegt, vom Zink angezogen würde, hat mich anfangs zu der Meinung verleitet, das Zink verhalte sich gegen das Kupfer elektro-negativ. Die Erkenntniss jedoch, dass die Bewegung des positiven Urstoffes gegen das Zink nicht die Folge der Anziehung des Zinks, sondern eine Folge der Abstossung des Zinks von *B* über *D* hinaus, sowie eine Folge der vom Kupfer auf den negativen Urstoff ausgeübten Abstossung von *C* über *A* hinaus ist, nöthigt mich, den letzten Satz des §. 367 nach Vorstehendem zu berichtigen.

Figur 19 stellt den Zustand dar, in welchem die Urstoffe nach der Schliessung der Kette dauernd verharren; es ist ein Spannungs- und Ruhezustand, kein dauernder Strom.

25) Wenn die isolirten Zink- und Kupferstücke einander bis zur Berührung genähert werden; so gehen zuerst die entgegengesetzten Urstoffe bei *B* und *C* über und neutralisiren die Berührungsflächen; darauf gehen auch die an die Hinterflächen *A* und *D* getriebenen Urstoffe zueinander über und neutralisiren beide Körper vollständig. Werden die nach Figur 19 leitend verbundenen Körper zur Berührung gebracht; so sind die zuletzt erwähnten Urstoffe bereits vereinigt; es erfolgt also nur noch die Vereinigung der Urstoffe *B* und *C*. In allen Fällen ist neutraler, spannungsloser Ruhezustand das Resultat der Berührung zweier Metalle. Gleichwohl ist die Herbeiführung dieser Berührung nicht wirkungslos gewesen; es hat ein Austausch zwischen einer gewissen Menge positiven und negativen Urstoffes der beiden Körper stattgefunden. Ausserdem aber besteht zwischen den sich berührenden Stoffen unzweifelhaft eine chemilogische Gemeinschaft, welche in einer partiellen Verschiebung und Eindringung von Stoffen aus den Grenzatomten des einen Körpers in die des anderen bestehen wird, wobei wir jedoch noch unentschieden lassen, ob an dieser Verschiebung entgegengesetzte Urstoffe oder ganze ätherische Generatrizen der beiden Körper sich betheiligen. Jedenfalls involvirt dieser Zustand eine chemilogische Spannung zwischen den beiden Körpern.

26) Wenn sich in dem Körper *AB* (Figur 20) freier positiver Urstoff befindet, der nahe liegende Körper *CD* aber von gleichem Stoffe wie *AB* ist, also nicht elektromotorisch auf denselben wirkt; so bewirkt der positive Urstoff des ersten Körpers in dem zweiten eine Scheidung von Urstoffen mittelst eines momentanen Stromes, in Folge dessen in *CD* der negative Urstoff nach der Vorderfläche gezogen und der positive an die Hinterfläche gedrängt wird. Eine Berührung der beiden Körper bei *B* und *C* bewirkt die Vereinigung der betreffenden beiden entgegengesetzten Urstoffe; hierauf tritt die Hälfte des nach *D* getriebenen Urstoffes mittelst eines negativen Stromschlages an die Fläche *A*. Werden beide Körper nicht bei *B* und *C*, sondern bei *A* und *D* leitend verbunden; so entfernt sich der positive Urstoff von *D* so weit in der

Leitung, dass er von den Urstoffen B und C im Gleichgewichte erhalten wird.

27) Wenn der Körper AB mit einseitigem Urstoffe von der Menge a geladen ist und zugleich elektromotorisch auf CD dergestalt wirkt, dass in ihm bei B die Urstoffmenge b entbunden wird, wobei sowohl a , als auch b positiv oder negativ gedacht werden kann; so vereinigen sich zwei durch Figur 18 und 20 dargestellte Zustände nach Figur 21; bei B erscheint der Urstoff $a + b$, bei C der Urstoff $-a - b$, bei A der Urstoff $-b$, bei D der Urstoff $a + b$. Die Summe der an die Enden A und D getriebenen Urstoffe ist gleich der von Haus aus gegebenen freien Urstoffmenge a .

28) Nach Figur 22 sei eine Reihe von isolirten, einander ungemein nahe liegenden leitenden Körpern in neutralem Zustande aufgestellt. Wenn zwei derselben, z. B. B und C elektromotorisch auf einander wirken, so sammelt sich an den einander gegenüberstehenden Flächen in B der Urstoff a und in C der Urstoff $-a$, der entgegengesetzte Urstoff von gleicher Menge wird an die anderen Enden von B und C getrieben. Durch die Induktion oder Influenz der letzteren werden in den benachbarten Körpern die entgegengesetzten Urstoffe angezogen und die gleichnamigen abgestossen; es bildet sich also der in der Figur dargestellte Zustand, wonach vorn in A der Urstoff $-a$ und hinten in F der Urstoff a erscheint.

Hierbei wird vorausgesetzt, dass alle Körper einander ungemein nahe liegen und ungemein kurz sind. Bei grossen Abständen voneinander bindet der abgestossene freie Urstoff a des einen Körpers in dem anderen Körper eine entgegengesetzte Urstoffmenge, welche kleiner als a ist, die Enden der Reihe werden also eine geringere Urstoffmenge als a enthalten. Das Nämliche ereignet sich, wenn die einzelnen Körper eine namhafte Länge haben, weil dann der in jedem Körper abgestossene Urstoff sich nicht so stark am entgegengesetzten Ende verdichtet, also mit seinem Schwerpunkte nicht bis in die Endfläche getrieben wird und demzufolge nicht mit voller Kraft induzirend auf den folgenden Körper wirkt.

Wenn jetzt ausser B und C noch ein zweites Körperpaar wie C und D elektromotorisch aufeinander wirken, sodass in den gegenüberstehenden Flächen in C der Urstoff b und in D der Urstoff $-b$ entbunden wird; so stellt sich durch Summirung der beiden Zustände der in Figur 23 dargestellte Zustand ein, in Folge dessen vorn in A der Urstoff $-a - b$ und hinten in F der Urstoff $a + b$ erscheint.

Die elektromotorische Wirkung eines dritten Körperpaares D und E erzeugt vorn den Urstoff $-a - b - c$ und hinten den Urstoff $a + b + c$ u. s. w. In diesem Ausdrücke kann jedes Glied a, b, c positiv oder negativ sein.

Werden nach Figur 24 einige Körper, z. B. D mit E und F mit A leitend verbunden; so vereinigen sich die an den verbundenen Flächen aufgehäuften Urstoffe mittelst eines Stomschlages, dessen Intensität der Grösse $a + b + c$ proportional ist. Nach diesem Schlage verharret das System in dauernder Ruhe unter der in Satz 25 erwähnten chemilogischen Spannung.

Statt der verbindenden Leiter kann man auch die Körper an den betreffenden Stellen in unmittelbare Berührung bringen. Der Effekt ist derselbe. Die plötzliche Berührung leitender Körper von verschiedenen Stoffen bringt also wohl einen Austausch von Urstoffen unter einem Stromschlage, aber keinen dauernden Strom hervor.

29) Wenn der Körper B in C den Urstoff a und der Körper C in D den Urstoff b anzieht; so zieht auch B bei unmittelbarer Gegenüberstellung in D den Urstoff $a + b$ an; die Spannung zwischen B und D ist die Summe der Spannungen zwischen B und C und zwischen C und D . Die zwischen den Endpunkten der Reihe $ABCDEF$ erscheinenden Urstoffe repräsentiren daher die Spannung zwischen dem ersten Körper A und dem letzten F .

30) In Fig. 25 seien AB , BC , CD drei einander berührende Leiter von verschiedenem Stoffe, welche durch die Leitung DEA in Verbindung stehen. Wenn die Kette vorläufig durch das Fehlen des mittelsten Körpers BC offen steht, herrscht in derselben überall Neutralität. Wird jetzt plötzlich der Körper BC eingeschoben; so entsteht der gezeichnete Zustand und unter einem Stromschlage von der Intensität $a + b$ erfolgt ein Austausch von Urstoffen zwischen den drei Körpern; darauf dauernde Ruhe. Diese Ruhe wird auch nicht durch die Beseitigung des Körpers BC unterbrochen, wennauch die Aufhebung der in Nr. 25 erwähnten chemilogischen Spannung mit einem schwachen Rückschlage begleitet ist.

Eine abermalige Einfügung des Körpers BC erzeugt einen zweiten Stromschlag und es leuchtet ein, dass fortgesetzte Ein- und Ausschaltungen des elektromotorischen Körpers BC einen dauernden Strom in der Kette $ADEA$ erzeugen werden.

31) Die eben erwähnte Ein- und Ausschaltung eines starren elektromotorischen leitenden Körpers, z. B. eines Metallstückes erfordert einen mechanischen Apparat und mechanische Arbeit, welche vornehmlich durch die Reibung konsumirt wird, die zwischen dem beweglichen Körper BC und den unbeweglichen Körpern AB und CD unvermeidlich ist, um einen wirksamen Kontakt und eine entsprechende Entbindung und Überführung von Urstoffen an den Grenzflächen zu ermöglichen. Der erzeugte Strom wird dieser Arbeit genau äquivalent sein oder jener Strom wird eine Umwandlung dieser Arbeit durch Vermittlung der chemischen Affinität darstellen.

Unmittelbarer erzeugt Affinität den Strom, wenn an die Stelle des starren Körpers BC ein flüssiger gesetzt wird, welcher ein Theil einer grösseren zwischen den beiden metallischen Körpern AB und CD angebrachten Flüssigkeitsmasse ist. Die Flüssigkeit, als ein Leiter zweiter Klasse, erleidet durch die Wirkung der Affinität zu den angrenzenden Metallen nicht nur einen Austausch von Urstoffen und die in Satz 25 erwähnte chemilogische Spannung, sondern auch in Folge dieser Spannung eine chemische Zersetzung. In Folge dieser Zersetzung treten an den Polen B und C die Zersetzungsprodukte aus und gestatten, indem sie in Gasform entweichen oder in der Flüssigkeit aufgelöst werden, einer neuen Flüssigkeitsmasse den Zutritt

zu den Polen. Die Zersetzung der Flüssigkeit in der Batterie oder Voltaschen Säule ermöglicht also das abwechselnde Ein- und Ausschalten des elektromotorischen Körpers, also das Erscheinen eines dauernden Stromes. Hierdurch allein wird die Flüssigkeit das praktische und unentbehrliche Mittel zur Stromerzeugung ohne mechanische Arbeit durch die unmittelbare Wirkung der Affinität. An die Stelle der vorhin erwähnten mechanischen Arbeit tritt jetzt die chemilogische Thätigkeit als die eigentliche elektromotorische Arbeit; diese Thätigkeit heisst Stoffwechsel. Ohne Stoffwechsel ist, wenn andere Motoren wie mechanische Arbeit, Erwärmung u. s. w. ausgeschlossen sind, kein dauernder Strom unter der Wirkung der Affinität möglich.

32) In einem Leiter zweiter Klasse zieht ein galvanischer Strom (von Urstoffen) einen Voltaschen Strom (von ponderabelen Stoffen) nach sich und, umgekehrt, zieht ein Voltascher Strom einen galvanischen nach sich. Die Batterie oder Säule ist der Apparat, in welchem die Affinität zwischen Metallen und Säuren die motorische Kraft für einen Voltaschen Strom liefert, welcher einen galvanischen Strom bedingt. Ein auf diese oder andere Weise erzeugter galvanischer Strom kann dann zum Erreger eines Voltaschen Stromes in einem Voltameter dienen.

Im galvanischen Strome findet ein Austausch von Urstoffen zwischen den benachbarten Generatrizen statt, im Voltaschen Strome dagegen findet ein Austausch von ponderabelen Stoffen, also von Atomen statt. Möglicherweise ist bei der Vergesellschaftung Beider die Wanderung der positiven und negativen Atome mit einer Wanderung der Urstoffe in den die Kerne dieser Atome bildenden Generatrizen (Nr. 1) begleitet.

33) Die Quantität der in einem Stromkreise umgesetzten Stoffe ist der galvanischen Wirkung äquivalent. Demzufolge repräsentirt bei konstantem Strome der chemische Stoffumsatz pro Zeiteinheit die Stromstärke.

Die Äquivalenz zwischen galvanischem Strome und chemischem Stoffwechsel ist im Qualitätsgebiet die genaue Analogie zu der Äquivalenz zwischen Wärme und Arbeit im mechanischen Gebiete.

Chemische Affinität ist der unmittelbare Erreger des Voltaschen, kosmetische Affinität der unmittelbare Erreger des galvanischen Stromes. Mittelbar ruft chemische Affinität galvanischen Strom und kosmetische Affinität chemischen Stoffwechsel hervor.

34) Dass der Niederschlag der Umsatzstoffe an den Elektroden einer Batterie den Strom beeinflusst, indem derselbe die Polarisation hervorruft, versteht sich von selbst. Das Hinderniss, welches ein Leiter zweiter Klasse dem Strömen der Urstoffe entgensetzt, der Voltasche Widerstand, macht es aber auch möglich, dass beim Übergange eines Stromes aus einem flüssigen in einen metallischen Leiter eine Schicht der von ersterem ausgeschiedenen Atome an dem letzteren ziemlich fest haftet, indem ein vordringendes Atom der Flüssigkeit, jenachdem es ein positives oder negatives ist, resp. von dem negativen oder dem positiven Urstoffe des Metalles unter Spannung hartnäckig festgehalten wird,

Wenn sich in dieser festgehaltenen Schicht unter energischer Zusammenwirkung des Metalles die Urstoffe scheiden, ohne dass doch der vom Metalle angezogene Urstoff in dasselbe eintritt, kehrt sich die Polarisationswirkung um, weil nun an der Aussenfläche der Schicht derselbe Urstoff erscheint, welcher dem Metallpole entspricht. Hierdurch erklärt sich der zuweilen vorkommende Wechsel des Polarisationsstromes.

35) Wenn n aus je drei Körpern bestehende elektromotorische Elemente AD leitend aneinander gereiht werden, summiren sich ihre Wirkungen zu dem n -fachen. Der entstehende Strom hat in allen Punkten der Batterie und der Leitung dieselbe n -fache Stärke; es bewegt sich durch jeden Querschnitt des Schliessungskreises in der Zeiteinheit dieselbe Urstoffmenge: allein, dessenungeachtet variiren die Spannungszustände in diesem Kreise, weil dieser Kreis einen Leitungswiderstand darbietet, der von den motorischen Erregungsstellen der Batterie aus überwunden werden muss.

36) Wenn sich der Leiter AB (Fig. 26), in dessen mittelstem Querschnitte C durch eine elektromotorische Kraft die Urstoffe so geschieden werden, dass der positive Urstoff nach rechts und der negative nach links getrieben wird, kettenförmig schliesst; so strömt in allen Punkten der positive Urstoff in der Richtung CB und der negative Urstoff in der Richtung CA . Damit sich in einem Stromfaden von dem Querschnitte einer Generatrix der positive Urstoff nach rechts verschieben könne, muss in zwei unendlich benachbarten Querschnitten links eine Spannung herrschen, welche die Spannung rechts um den Betrag des zwischen diesen beiden Querschnitten liegenden Widerstandes übertrifft. Für einen gegebenen Körper ist dieser Widerstand der Entfernung ∂x der beiden Querschnitte proportional: ist also p die Spannung des positiven Urstoffes in irgend einem Punkte der Kette, dessen Abstand von dem Erregungspunkte C gleich x ist; so muss das nach x genommene Differential von p dem Widerstand $k \partial x$ proportional sein, d. h. man muss $\partial p = - a k \partial x$ haben. Ebendasselbe gilt von dem negativen Urstoffe, welcher sich in gleicher Menge nach entgegengesetzter Seite bewegt; für seine Spannung q muss $\partial q = a k \partial x$ sein. Wenngleich die Differentiale von p und q gleiche absolute Werthe haben; so können doch die absoluten Werthe von p und q verschieden sein, sie können sich durch ein konstantes Glied unterscheiden: immer aber hat man in der Erstreckung eines homogenen Theiles der Kette von konstantem Querschnitte $p = a - a k x$ und $q = b + a k x$, also $p + q = a + b$ und $p - q = a - b - 2 a k x$. In jedem solchen Theile der Kette nimmt also in der positiven Stromrichtung die Spannung des positiven Urstoffes gleichmässig ab und die des negativen Urstoffes gleichmässig zu, ihre Summe bleibt konstant und ihre Differenz nimmt gleichmässig ab. Auf den Grenzen A und B der verschiedenartigen Theile der Kette ändern sich die Werthe der Konstanten a und b . Dieselben bestimmen sich durch die Bedingung, dass die Spannung p des positiven Urstoffes links von C gleich null, bei A gleich dem Widerstande der Strecke CA , bei B gleich dem Widerstande der beiden Strecken CA und AEB , rechts von C gleich dem Widerstande der ganzen Kette sei, ferner dass die

Spannung q des negativen Urstoffes rechts von C gleich null, bei B gleich dem Widerstande der Strecke CB , bei A gleich dem Widerstande der beiden Strecken CB und BEA , links von C gleich dem Widerstande der ganzen Kette sei.

37) Hiernach strömen zwar durch jeden Querschnitt der Kette gleiche Urstoffmengen, aber dieselben haben in verschiedenen Punkten der Kette verschiedene Spannung. Da ausser in dem Querschnitte C keine elektromotorische Kraft wirksam ist; so kann in jedem anderen Querschnitte E der Kette der zur Fortbewegung der Urstoffe erforderliche Druck nur durch eine von Punkt zu Punkt variirende Dichtigkeit der Urstoffe hervorgebracht werden; die Dichtigkeit des positiven Urstoffes muss von C gegen B hin, die des negativen aber von C gegen A abnehmen. Da sich jedoch durch alle Querschnitte dieselbe Urstoffmenge mit derselben Geschwindigkeit bewegt; so können die strömenden Urstoffe nur eine konstante Dichtigkeit haben; die verdichteten Urstoffmengen, welche den bewegenden Druck ausüben, müssen daher im Stillstande verharren, d. h. sie müssen entbundene oder freie Urstoffe darstellen.

Hieraus geht hervor, dass sich unter dem von dem eigentlichen Elektromotor in C ausgehenden, rechts gegen den positiven, links gegen den negativen Urstoff gerichteten Drucke in allen Querschnitten der Kette positiver und negativer Urstoff in Mengen, welche den vorstehend berechneten Spannungen p und q proportional sind, entbinden, um den zur Fortbewegung der Urstoffe unter dem Widerstande der Leitung erforderlichen Überdruck für jedes Längenelement der Leitung zu erzeugen; die Leitung wird sich mit freier Elektrizität laden. Die Differenz $p - q$ bezeichnet für jeden Querschnitt den Überschuss des einen Urstoffes über den anderen. Jenachdem diese Differenz positiv oder negativ ist, erscheint die Leitung positiv oder negativ geladen. Rechts von C wird die stärkste positive, links von C die stärkste negative Ladung stattfinden und in der Mitte der Kette wird die Leitung neutral erscheinen.

Stellt der Elektromotor C eine Zelle von Zink, Säure, Kupfer dar, während $CBEAC$ der metallische Leiter ist; so liegt bei C das Zink links und das Kupfer rechts. Stellt aber C eine Zink- und Kupferplatte und $CBEAC$ die Säure dar; so liegt bei C das Zink rechts und das Kupfer links.

38) Es ist durchaus nicht nöthig, dass die entbundenen Urstoffe sich über alle Punkte eines Querschnittes gleichmässig vertheilen; sie werden sich am Umfange desselben ansammeln und können von hier aus ihren Druck auf alle Punkte des Querschnittes gerade so gut ausüben, wie wenn sie in diesen Punkten selbst existirten.

39) Übrigens leuchtet ein, dass über der Ladung der ganzen Kette, welche einer von C ausgehenden, mit der Stromrichtung übereinstimmenden Verschiebung der Urstoffe entspricht, eine gewisse Zeit verfließen wird, dass also der Strom erst allmählich das Maximum seiner Intensität annehmen wird. Die Berührung der Kette

mit einem Leiter schwächt den Strom in der ganzen Kette momentan durch Abführung des an der Berührungsstelle befindlichen freien Urstoffes: wenn die Berührung andauert, häuft sich der zur Spannung erforderliche Urstoff allmählich wieder an, es findet aber, wenn der berührende Leiter mit dem Anfange der Leitung eine Kette bildet, eine Stromverzweigung statt, welche nicht den Strom in der vorderen Strecke der Leitung, sondern nur in der hinteren Strecke schwächt.

40) Wenn die elektromotorische Kraft nicht an einer einzigen Stelle, sondern an mehreren Stellen, wie in einer galvanischen Batterie oder Voltaschen Säule (Fig. 27) geäußert wird; so wächst in der Batterie selbst von A bis B die positive Spannung durch sukzessive Summierung der motorischen Kräfte von Becher zu Becher, erreicht am Pole B ihr Maximum und sinkt sodann gegen den anderen Pol A hin allmählich auf null herab.

41) Wir haben im Vorstehenden das Verhalten von Leitern erster und zweiter Klasse gegeneinander betrachtet. Isolatoren haben ganz dieselbe Affinität wie Leiter und unterscheiden sich in ihrem Verhalten nur durch die Unfähigkeit oder Schwierigkeit einer strömenden Bewegung. Demzufolge gestatten sie den entbundenen Urstoffen nicht die Verbreitung. Sind in Fig. 28 AB und CD zwei solche Körper; so werden nach Satz 15 in den Generatrizen der Flächen B und C die Urstoffe geschieden, indem der positive Urstoff des ersten Körpers nach rechts und der negative des zweiten Körpers nach links drängt, ohne seine Generatrix zu verlassen. In diesem Zustande verharren die beiden Körper. Werden dieselben bis zur innigen Berührung genähert; so tritt in Folge der wachsenden Spannung der geschiedene positive Urstoff aus dem ersten in den zweiten und der geschiedene negative Urstoff aus dem zweiten in den ersten über, es füllen sich also nach Fig. 29 eine gewisse Anzahl Generatrizen im ersten Körper ganz mit negativem und im zweiten Körper ganz mit positivem Urstoffe und diese Urstoffe verharren, selbst wenn die Körper wieder getrennt werden, in den Vorderflächen derselben (oder vertiefen sich doch nur wenig in diese Körper).

Zu einer so innigen Berührung der Isolatoren, welche einen Übergang von Urstoffen ermöglicht, gehört im Allgemeinen eine starke Pressung, ausserdem ist im Allgemeinen zur Überwindung des Leitungswiderstandes oder zur Eröffnung der Generatrizen eine Erschütterung der Letzteren oder eine Seitenpressung erforderlich, welche den an der Aussenfläche des Körpers hervortretenden Umfang der Generatrizen zerret oder zu zerreißen trachtet, also eine mechanische Abscherung. Diese Bedingungen werden eben durch Schlagen und Reiben erfüllt. So und nur so, d. h. lediglich als sekundäres Hilfsmittel zur Überwindung des Leitungswiderstandes ist Reibung ein elektrisches Erregungsmittel; Reibung mit gleichartigem Stoffe macht im Allgemeinen keine Urstoffe frei, und ein anderes Reibzeug kann die Art der Ladung ändern. Die wahre elektromotorische Ursache ist stets die Affinität. Alle elektrische Spannung beruht auf der Stoffverschiedenheit und der daraus entspringenden Neigung zur Verbindung; alle elektrische Thätigkeit

ist Stoffwechsel, nämlich Verbindung und Trennung von Urstoffen beim galvanischen Strome und von chemischen Stoffen beim Voltaschen Strome.

42) Wenn der Körper AB Harz und das Reibzeug CD Pelz- oder Wollstoff ist; so sammelt sich im Harze die negative Elektrizität. Weil diese Ansammlung auf der Anziehung des negativen Urstoffes beruht; so verhält sich in der Spannungsreihe Harz positiv gegen Pelz. Im Glase, welches mit Seide oder Wolle gerieben wird, sammelt sich die positive Elektrizität; Glas verhält sich also gegen Wolle negativ.

Hiernach ist in der Spannungsreihe Harz positiv, Glas negativ, analog dem Zink und dem Kupfer.

43) Wenn der geriebene Isolator eine raue Oberfläche hat und nur schwach von einem Reibzeuge gerieben wird, welches die obersten Spitzen der rauhen Oberfläche berührt; so kann es sich ereignen, dass der an diesen Spitzen zurückgetriebene Urstoff in die gewöhnlich zwischen den Spitzen sich aufhaltende leitende Feuchtigkeitsschicht eintritt und von derselben abgeleitet wird, dass aber der in den Spitzen gefesselte Urstoff wegen der losen Berührung mit dem Reibzeuge nicht in dasselbe übertritt. Auf diese Weise kann matt geschliffenes oder lose geriebenes Glas positiv elektrisch werden. Es ist ein entsprechender Druck zwischen dem Körper und dem Reibzeuge nöthig, um den Einfluss der Feuchtigkeitsschicht zu beseitigen und auch um den Übertritt der Urstoffe zwischen diesen beiden Körpern, also die in Nr. 41 bezeichnete Erscheinung herbeizuführen.

44) Der Widerstand eines Isolators ist ein begrenzter; eine genügende Gewalt besiegt ihn und erzeugt darin galvanische Bewegung.

45) Indem die Urstoffe einer Generatrix bei der galvanischen Strömung fortgesetzt auseinander gerissen werden, in die benachbarten Generatrizen hinüberspringen und daselbst neue Verbindungen stiften, bewirken sie eine mechanische Erschütterung der Atome. Die Erschütterungen werden umso heftiger, je grösser der Leitungswiderstand ist. Dieser Widerstand bedingt aber eine zweite mechanische Wirkung, nämlich die auf S. 30 u. 33 erwähnte Verschiebung der ponderablen Masse. Indem der positive Urstoff unter Zwang nach der einen und der negative nach der anderen Seite strömt, erleiden die Atome eine der Abscherung analoge Verschiebung der Generatrizen (bei welcher sie sich in den Leitern zweiter Klasse zugleich zersetzen). Diese mechanische Verschiebung der Generatrizen ist ein der Streckung der hämmerbaren Metalle ähnlicher Prozess, derselbe vermehrt die seitlichen Berührungspunkte der benachbarten Generatrizen, stellt eine innigere Berührung zwischen den Nachbarelementen her, hebt die in einem krystallinischen Gefüge bestehende Isolirung der Elemente auf oder macht den krystallinischen Körper sehnig, vermehrt also die absolute Festigkeit, wogegen die zuerst erwähnte Erschütterung die krystallinische Absonderung begünstigt, die sehnige Struktur zu einer körnigen gestaltet, den Körper spröder macht und im Allgemeinen seine absolute Festigkeit vermindert.

46) Da sich diese beiden mechanischen Wirkungen einander mehr oder weniger paralysiren; so kann der eine Körper durch den Strom

eine grössere, der andere eine kleinere Festigkeit annehmen. Die besten Leiter wie Silber, Kupfer, Gold, in welchen nur eine sehr geringe Stoffverschiebung stattfindet, werden ihre Festigkeit vermindern, spröde und brüchig werden. Die schlechteren Leiter wie Eisen und Stahl dagegen werden ihre Festigkeit erhöhen, auch einen Theil dieser Erhöhung nach dem Durchgange des Stromes längere Zeit bewahren.

47) Es leuchtet ein, dass die Verschiebung und demzufolge die Veränderung der Festigkeit mit der Stromstärke in direktem Verhältnisse stehen, dass das Maximum der einer gegebenen Stromstärke entsprechenden Verschiebung aber erst nach einer gewissen Zeit des Durchganges des Stromes erreicht werden wird. Ich glaube, dass die schönen Versuche von G. Hoffmann, welche im Hefte V. des Jahrgangs 1880 der Elektrotechnischen Zeitschrift mitgetheilt sind, durch diese Anschauungen ihre Erklärung finden.

48) Das Eisen ist nicht nur ein schlechter Leiter; es hat auch einen kleinen elektrischen Elastizitätsmodel mit einer weiten Elastizitätsgrenze; das nicht absolut reine und weiche Eisen besitzt übrigens keine absolut vollkommene elektrische Elastizität. Demzufolge bleibt in dem nicht ganz weichen Eisen eines Elektromagneten etwas Magnetismus zurück und desshalb bleibt ein nicht ganz weicher Eisendrath, durch welchen ein galvanischer Strom gegangen ist, in galvanischer Spannung, d. h. die verschobenen Urstoffe kehren nicht sogleich vollständig in die natürliche Lage zurück, sondern verharren mit einer gewissen Verschiebung unter galvanischer Spannung. (Möglicherweise bleibt eine dauernde Verschiebung des Ponderabelen zurück, welche eine Verschiebung der Urstoffe impliziert). Es leuchtet ein, dass die Erschütterung eines solchen Stabes, wie Villari gezeigt hat, einen momentanen Strom hervorbringt, indem die gespannten Urstoffe (oder die gespannten Generatrizen mit den Urstoffen) plötzlich in die natürliche Lage zurückkehren.

49) Der galvanische Strom beeinflusst nicht nur die absolute Festigkeit, sondern unzweifelhaft auch die krystallinische Struktur und Kohäsion seines Trägers, und umgekehrt, kann eine Veränderung dieser Struktur galvanische und elektrische Erscheinungen nach sich ziehen, namentlich, wenn es sich um chemisch zusammengesetzte Stoffe handelt und innere Reibungen zwischen verschiedenartigen Stoffbestandtheilen dabei ins Spiel kommen.

50) Wohl nur aus diesem Grunde erzeugt die Erwärmung eine galvanische Spannung im Turmalin und in anderen, besonders in hemiedrischen, allgemein aber in solchen Krystallen, welche sich bei der Erwärmung in den verschiedenen Richtungen verschieden und zwar dergestalt ausdehnen, dass ihre Winkel sich erheblich ändern, indem eine Abscherungsbewegung parallel zu einer Axe eintritt. Es ist dann begreiflich, dass die Stücke, in welche ein erwärmter Turmalin zerbrochen wird, lauter Galvanide bilden und dass die Polarität während der Erwärmung entsteht, nachher erlischt und sich bei der Abkühlung umkehrt.

10. Gewitter und Hagelwetter.

Ich kann mir nicht versagen, gestützt auf die obigen Grundanschauungen, die Erklärung einiger wichtigen Naturerscheinungen, welche meines Erachtens in wesentlichen Punkten falsch gedeutet werden, folgen zu lassen.

Wie Stoffwechsel ein Haupt-Stromerzeuger ist, so ist Reibung verschiedenartiger Stoffe ein Hauptmittel zur Entbindung von Elektrizität. Die Verdunstung des Wassers in der Atmosphäre ist, indem sich die Generatrizen der Flüssigkeit zu den viel grösseren Generatrizen des Gases expandiren, von einer fortgesetzten, stossweise auftretenden Reibung zwischen dem verdunstenden Wasser und der Luft begleitet; das Nämliche ist bei der Kondensation des Wasserdunstes der Fall. Beide Prozesse sind hiernach Erreger von Elektrizität: der erstere jedoch verbreitet die entbundenen Elektrizitäten bei der Expansion des Wasserdunstes über einen immer grösser werdenden Raum, kann also nicht leicht erhebliche Effekte hervorbringen; der letztere dagegen konzentriert bei der Verdichtung des Dunstes zu Wasser die entbundenen Elektrizitäten in den Regentropfen, in den Thautropfen, in den Schneeflocken, in den Hagelkörnern. Dieser Vorgang bedingt im Wesentlichen das Gewitter. Die eine der bei der Kondensation entbundenen Elektrizitäten haftet am Wasserdunste und dem kondensirten Wasser und wird von demselben durch den Wind weitergetragen, während die andere Elektrizität momentan an der Luft haftet und von den später mit dieser Luft sich mischenden Wolken theilen aufgenommen wird, wenn sie sich nicht schon vorher im Luftraume vertheilt hat. Übrigens muss der Verdunstungs- und der Kondensationsprozess auch in Abwesenheit von Luft wegen der im ersten Supplemente zum zweiten Theile der „Naturgesetze“ S. 65 dargelegten Umbildung der Urstoffe aus demselben Grunde wie die Reibung eine Entbindung und Konzentration von Elektrizität zur Folge haben, die Anwesenheit von Luft und die Bewegung des kondensirten Wassers durch den Wind wird jedoch für die örtliche Scheidung der beiden Elektrizitäten von Bedeutung sein. Ausserdem glaube ich, dass die freie Elektrizität, welche sich in jedem Wasserpartikel bei dessen Kondensirung aufhält, indem sie nach der Oberfläche desselben strebt und eine Abstossung auf ihre eigenen Theile ausübt, wesentlich zur Bläschenbildung beiträgt, derzufolge das kondensirte Wasser noch nicht in Tropfen zur Erde fällt, sondern zunächst eine schwebende Wolke bildet. Jedenfalls werden die mit Elektrizität geladenen Bläschen einer Gewitterwolke einen grösseren Durchmesser und eine grössere Spannung haben, auch durch Repulsion sich in grösserem gegenseitigen Abstände halten, als wenn sie nicht geladen wären; eine plötzliche Entladung der Wolke durch den Blitz wird also häufig mit einem Zusammenbruche vieler Bläschen, also mit einem verstärkten Regengusse begleitet sein. Die Erschütterung durch den Donner könnte diesen Guss wohl begünstigen: wenn aber der peitschende Sturmwind die gejagte Wolke nicht zerstört; so scheint die Erschütterung durch den Donner nicht von überwiegender Wirkung zu sein.

Aus der Wolke kann sich Regen, oder Hagel ergiessen; diese Ergüsse sind das Resultat ganz verschiedener Prozesse. Der Regen ist ein Wärmephänomen, der Hagel ein Verdunstungsphänomen, d. h. beim Regen ist Abkühlung die Ursache und Kondensation die Wirkung, beim Hagel dagegen ist Verdunstung die Ursache und Abkühlung die Wirkung. Wenn nämlich die Wolke, welche im Allgemeinen eine von Wasserdunst durchtränkte Bläschenmenge ist, durch Wind oder durch Eintritt in eine kältere Luftschicht zur verstärkten Kondensation des Wasserdunstes genöthigt wird; so verstärken sich die Wände der Bläschen, oder es bilden sich neue Bläschen. Eine rapide Kondensation entbindet nach dem erwähnten Vorgange Elektrizität und macht die Wolke zur Gewitterwolke, welche bei genügender Kondensation Regen entlässt. Wie die Abkühlung so wirkt auch der Eintritt der Wolke in eine feuchtere Luftschicht.

Wenn hingegen die Wolke durch warmen Wind oder durch Sonnenstrahlen oder durch den Eintritt in eine wärmere oder trocknere Luftschicht zu verstärkter Verdunstung der Bläschen genöthigt wird; so kann unter geeigneten Umständen, namentlich wenn viel dünne Bläschen zerplatzen und dadurch eine relativ grosse Verdunstungsfläche darbieten, die Verdunstung sich so steigern, dass dem bereits vorhandenen Wasserdunste oder auch anderen Bläschen durch die bei der ersteren Verdunstung gebundene Wärme so viel Wärme entzogen wird, um Eispartikelchen zu erzeugen, welche zunächst als kleine Schneebälle zusammenschliessen. Die in diesen Schneebällchen festgehaltene Elektrizität bewirkt eine Abstossung zwischen denselben, ausserdem äussert die entgegengesetzte Elektrizität, welche von der Luft oder anderen Wolken theilen festgehalten wird, eine Anziehung auf die Gesammtheit jener Bällchen; beide Wirkungen ermöglichen das Schweben der Schneebällchen in der Luft, bis ihr Gewicht einen gewissen Betrag erlangt hat. Wenn bis zu diesem Punkte der Bildungsprozess der Schneebällchen derselbe bleibt, fallen dieselben als Graupeln oder Schlossen herab. Wenn jedoch durch die zunehmende Verdunstung die Feuchtigkeit in der Wolke so wächst, dass die entstandenen Schneebällchen genetzt werden; so wird der in Rede stehende Wärmebindungsprozess diese Bällchen mit konzentrischen Eisschalen überziehen, namentlich wird Diess geschehen, wenn durch wiederholte elektrische Entladungen der noch nicht gefrorenen Bläschen ganze Bläschen zerplatzen, um stärker zu verdunsten und zugleich andere Bläschenmassen als Eis niederzuschlagen.

Es liegt auf der Hand, dass auf diese Weise der Hagel sich vornehmlich im Sommer, nicht im Winter, vornehmlich bei Tage, nicht bei Nacht, auch vor dem Regen, nicht nach dem Regen bilden wird. Ausserdem erscheint es möglich, dass elektrische Entladungen der in dünnen Bläschen enthaltenen Elektrizität das Zerplatzen derselben, dadurch ein rapides Verdunsten und demgemäss eine Hagelbildung zur Folge haben können, dass aber auch eine Entladung der bei ihrer Entstehung sich wiederum mit Elektrizität ladenden Hagelkörner, welche eben durch die Abstossung dieser Elektrizität und durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektrizität der Luft schwebend erhalten werden, ihren Sturz zur Erde herbeiführen kann. Hiernach erscheint es erklärlich, dass

durch einen elektrischen Prozess, welcher sich durch eine hundert Meilen lange Wolkenschicht fortpflanzt, binnen einer kurzen Zeit längs eines schmalen Streifens ein Hagelschauer entladen wird, während rechts und links nur Regen herabströmt.

Die Hypothese, dass sich die Bläschen der Wolke tief unter den Gefrierpunkt abkühlen, ohne zu erstarren, und dass eine solche Erstarrung durch eine plötzliche Erschütterung entstehe, welche den Hagel bilde, erscheint mir völlig unannehmbar. Die Abkühlung der Bläschen unter den Gefrierpunkt, ohne zu erstarren, bliebe dasselbe unerklärte Räthsel; dieselbe würde aber in den Fällen ganz unmöglich sein, wo sich Hagel im warmen Sommer unterhalb der Schneegrenze bildet. Die Beobachtung von Glatteis, welches sich bei der Lufttemperatur von einigen Wärmegraden auf Gegenständen, die selbst diese Lufttemperatur gehabt haben, erzeugt hat, beweis't durchaus nicht, dass die herabfallenden Regentropfen unter null Grad abgekühlt gewesen seien; sie beweis't nur, dass die beim Aufschlagen auf harte Körper zerspritzten Wassertropfen in der vielleicht sehr trockenen Luft eine sehr lebhaftere Verdunstung veranlasst haben, wodurch der nicht verdunstete Theil, der schon eine sehr niedrige Temperatur gehabt hat, zum Gefrieren gebracht ist. Dieses Glatteis entsteht aus derselben Ursache, welche wir der Hagelbildung zuschreiben, nämlich aus einer rapiden Verdunstung. Dass ein solcher Prozess in der Natur wirklich vorkommt, habe ich aus der Mittheilung eines sehr zuverlässigen und intelligenten Mannes entnommen, welcher mir das von ihm beobachtete Phänomen beschrieb, wonach ein Herbstnebel in demselben Augenblicke, wo die ersten Strahlen der aufgehenden Sonne über das Feld und durch den Wald schossen, sich gelichtet und als Reif an den Zweigen der Bäume niedergeschlagen habe.

Auch die Wahrnehmung der Luftschiffer, dass bei Temperaturen unter null Grad zuweilen Nebel angetroffen werde, beweis't nicht, dass die Nebelbläschen eine solche Temperatur haben. Das aus Bläschen und Wasserdunst bestehende Gemenge kann nur im Beharrungszustande eine gleichmässige Temperatur haben; bei vorherrschender Kondensation, wo die Bläschen an Wandstärke zunehmen, werden dieselben in Folge der frei werdenden Wärme wärmer sein, als der Dunst, sodass sie einen warmen Regen zu liefern und bei der Gefriertemperatur des Dunstes dennoch flüssige Schalen darzustellen vermögen; bei vorherrschender Verdunstung dagegen, wo die Bläschen an Wandstärke verlieren, werden sie in Folge der latent werdenden Wärme kälter sein, als der Dunst, sodass sie in wärmerem Dunste Hagel zu bilden vermögen.

Die Stoffverschiedenheit zwischen Luft und Wasser scheint mir eine wesentliche Vorbedingung für die Entbindung von Elektrizität zu sein. Wir leugnen die Möglichkeit der Erzeugung elektrischer Spannungen durch Molekularbewegungen in gleichartigen Körpern unter geeigneten Umständen (wie z. B. im Turmaline bei der durch Erwärmung erzeugten Form- und Strukturveränderung) nicht, meinen aber, dass die örtliche Sonderung der geschiedenen Elektrizitäten durch das Vorhandensein verschiedenartiger Stoffe, z. B. bei den Diaphragmenströmen, welche das durch poröse Nichtleiter gepresste Wasser erzeugt, gefördert werde. Demnach wird das bewegte Meer wohl an den darin befindlichen Objekten,

aber nicht so sehr an seinen eigenen Theilen elektrische Erscheinungen zeigen; ebenso wird der Sturm in der Luft nur an den bestrichenen Gegenständen, also auch an Wolken und Nebeln elektrische Erscheinungen hervorrufen. (Ich habe von Schiffen und Bewohnern des Meeresstrandes die Behauptung aussprechen hören, dass manche Erscheinungen, wie Meeresleuchten, durchaus nicht vorherrschend bei sogenannter Gewitterluft in schwüler Sommerzeit, sondern ebenso häufig im Winter und überhaupt bei Sturm vorkommen).

11. Induktion.

Induktion ist Fortpflanzung oder Übertragung der elektromotorischen Kraft, d. h. derjenigen Kraft, womit die Urstoffe vermöge der ihnen innewohnenden kosmetischen Affinität oder Neigung zur Verbindung mit Ungleichartigem und zur Abwendung vom Gleichartigen scheidend, verbindend, spannend, oder in sonstiger Weise auf die Urstoffe anderer Körper wirken, welche ausserhalb der induzirenden Körper liegen. Die Induktion erscheint daher als die Erregung elektrischer Prozesse in anderen Körpern und unterscheidet sich wesentlich von der Sollizitation oder elektrodynamischen Thätigkeit, d. h. von der in Attraktion, Repulsion, Drehung u. s. w. sich äussernden mechanischen Wirkung, welche die in gegebenen elektrischen Zuständen befindlichen Urstoffe zweier Körper aufeinander ausüben.

Eigentliche Induktion setzt übrigens die Fortpflanzung durch den Äther oder durch ein Medium voraus, welches nicht selbst in elektrische Bewegung, sondern nur in eine die Übertragung von Theilchen zu Theilchen ermöglichende Spannung versetzt werden kann, und erscheint daher als eine Wirkung in die Ferne oder als ein wahrhafter Strahlungsprozess. Die Fortpflanzung in elektrisch beweglichen Medien ist nicht einfache Übertragung, sondern Vertheilung oder Verbreitung eines elektrischen Zustandes in einem dazu geeigneten Medium, also ein echter Leitungsprozess.

In den „Naturgesetzen“ habe ich versucht, sowohl die Induktion, als auch die Sollizitation auf einfache Grundprinzipien zurückzuführen. Ich fühlte hierzu ein Bedürfniss, da die heutige theoretische Physik durchaus keine genügende Erklärung für diese Erscheinungen darbietet. Die beste Entwicklung und diejenige, welche nach ihren prinzipiellen Grundlagen wohl allein nur als eine naturwissenschaftliche Theorie der galvanischen Sollizitation zu betrachten sein dürfte, ist unstreitig die von W. Weber. Allein, so hoch ich diese Arbeit schätze und so sehr ich die Feinheit und Geschicklichkeit der zur Bestätigung derselben angestellten Experimente bewundere, vermag ich mich doch nicht zu den Grundprinzipien derselben zu bekennen.

Weber stellt die Hypothese auf, dass die Anziehungs- und Abstossungskraft, welche zwei elektrische Massen auf einander ausüben, von der relativen Geschwindigkeit derselben, ja, auch von der relativen Beschleunigung abhängig sei. Diese Hypothese ist mit den Prinzipien der Mechanik nicht wohl vereinbar. Man könnte zwar annehmen, ein elektrisches Atom sende seine induzirende und sollizitirende Wirkung

ähnlich wie das Licht und der Schall durch einen Pulsationsprozess nach allen Seiten aus, wie ich es in meiner Gravitationstheorie vorausgesetzt habe; in diesem Falle wird allerdings ein von dem induzierenden Atome sich hinweg bewegendes Körper in derselben Zeit eine geringere Anzahl von Induktionsimpulsen empfangen, als ein in gleichem Abstände verharrender, ja, wenn die Geschwindigkeit des Letzteren die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität überschreitet, wird ihn gar kein Impuls treffen, er wird also gar nicht von jenem Atom sollicitirt werden; andererseits wird ein gegen das sollicitirende Atom vordringender Körper in derselben Zeit mehr Impulse empfangen, also stärker affizirt werden: allein, immer bleibt die Intensität jedes Sollizationsimpulses und die Anzahl der in der Zeiteinheit ausgesandten Impulse von allen diesen Bewegungszuständen unabhängig; ausserdem aber sind alle Geschwindigkeiten der in einem galvanischen Strome oder auf andere Weise in der Natur bewegten elektrischen Massen ungemein klein gegen die Geschwindigkeit, womit sich elektrische Zustände fortpflanzen (eine Geschwindigkeit, welche immer circa 60 000 Meilen in der Sekunde beträgt); der Bewegungsstand der strömenden Elektrizität kann daher nur in verschwindendem Maasse Einfluss auf die Sollization ausüben und in keinem Falle der Grund so überaus erheblicher Effekte sein.

Hierzu kommt, dass die Theorie von Weber die Abhängigkeit der Sollization von dem Quadrate der relativen Geschwindigkeit verlangt, sodass relative Annäherung denselben Effekt wie relative Entfernung erzeugen müsste. Eine solche Relation erscheint ebenfalls kaum möglich, und die Schwierigkeit steigert sich durch die weitere Annahme, dass die relative Beschleunigung nicht mit zweiter, sondern mit erster Potenz wirke, sodass Beschleunigung und Verzögerung entgegengesetzte Effekte bedingen müssen, während doch Annäherung und Entfernung gleiche Effekte hervorbringen soll.

Wenn aber alle diese schwierigen Hypothesen zugelassen werden, sind sie doch nicht ausreichend, das Sollizationsgesetz ohne Rekursion auf die Beobachtung zu begründen. Weber's hypothetische Formel besteht aus drei Gliedern, welche ausser der relativen Geschwindigkeit und Beschleunigung Koeffizienten und Exponenten enthalten. Diese müssen aber sämmtlich, obwohl sie allgemein zum Sollizationsgesetze gehörige Grössen sind, durch Identifizierung jener Formel mit empirischen Formeln bestimmt werden. Hierdurch gestaltet sich diese Theorie lediglich zu einem rationellen Empirismus, welcher ebenso wie die weniger systematischen Ableitungen anderer Physiker darauf hinausläuft, die durch Beobachtung für den generellsten Fall aufgestellte Formel von Ampère aus den einfacheren Fällen unter Zuhülfenahme mehr oder weniger einfacher Zwischenhypothesen abzuleiten (cfr. Wiedemann, die Lehre vom Galvanismus, zweiter Band, §. 15 bis 45).

Die Thatsache, dass magnetische Elemente sich ebenso sollicitiren wie galvanische Kreisströme, beweis't, da unverkennbar der Magnetismus kein Bewegungs-, sondern ein Spannungszustand ist, mit schlagender Gewissheit, dass elektrische Bewegung kein Erforderniss zu elektrodynamischer Sollization ist, dass dieselbe also im galvanischen Stromelemente nur eine unwesentliche Nebenrolle spielt, nicht aber mit dieser

Sollizitation in unmittelbarem Kausalzusammenhange stehen kann. Mit anderen Worten, die Urstoffe eines galvanischen Stromelementes müssen sich nothwendig in einem elektrischen Zustande befinden, in welchem sie auch ohne Bewegung ganz die nämliche induzirende und sollizitirende Wirkung ausüben würden. Die elektrische, galvanische und magnetische Sollizitation kann nur eine besondere Art von Gravitation sein, und es dringt sich unabweislich die Vorstellung auf, dass während die Urstoffe in einem Atome der neutralen und ponderabelen Materie wegen allseitig gleichen Verhaltens eine gleiche Gravitationsthätigkeit in allen Richtungen des Raumes entwickeln, sie in der elektrisch erregten Materie in Folge einer nicht nach allen Seiten vollständigen Bindung in den verschiedenen Richtungen des Raumes verschieden gravitiren, dass also der elektrische Spannungszustand der beiden Urstoffe die Gravitation der daraus zusammengesetzten Materie bedingt.

Dieser Gedanke beherrschte mich bei der Verfassung des Abschnittes IX der „Naturgesetze“ und ich glaubte, demselben in den §§. 373 ff., wo ich das Stromelement, insbesondere die in dem normalen Querschnitte desselben liegende Materie als eine modifizierte Verbindung der Urstoffe auffasste, den angemessenen Ausdruck gegeben zu haben. Die Abweichung der hieraus entspringenden Formeln für die Sollizitation der galvanischen Elemente von der Ampèreschen Formel liess mich nicht fürchten, dass die Anwendung auf ganze Ströme mit den Ergebnissen der Beobachtung in Widerstreit treten würde. Eine vor Kurzem unternommene Ausführung meiner Theorie belehrte mich jedoch des Gegentheils; mit Entsetzen sah ich mich ausser Stande, aus jenen Formeln die thatsächlichen Effekte endlicher Ströme zu entwickeln. Diese offenbare Unzulänglichkeit einer in ihren Prinzipien mit so viel Zuversicht ausgebildeten Theorie, gegenüber der glänzenden Übereinstimmung der Beobachtung mit den Resultaten einer Theorie, deren Prinzipien ich nach gewissenhaftester Prüfung nicht annehmen konnte, hat mich eine Zeit lang in nicht geringe Aufregung versetzt und mit immer wachsender Gewalt zur Erforschung der Fehlerquelle angetrieben. Gott hat mir in diesem Kampfe um die Rettung einer Idee, welche ich für eine meiner besten hielt, beigestanden: in dem Augenblicke, wo ich sie nach vergeblichen Anstrengungen wie ein schönes Trugbild in den Abgrund des Irrthums glauben zu sehen, verlieh ein Genius meiner Phantasie die Flügel und meinem Erkenntnissvermögen die Kraft, die sinkende zu halten und, von Schlacken gereinigt, emporzutragen, um sie in dem Reiche der Wahrheit sicher zu bergen. Der Leser verzeihe diese Störung der mathematischen Betrachtung durch einen Gefühlsausbruch; das thörichte Herz fühlt sich gedrungen, durch einen Ausruf Zeugniß abzulegen von der Qual und dem Glück, welche es unter der Tyrannei des Kopfes zu ertragen hat.

12. Der Induktionsstrahl.

Indem ich jetzt zu der Charakterisirung des Wesens der Induktion und Sollizitation übergehe, bemerke ich, dass die in den „Naturgesetzen“ vorgetragenen Grundprinzipien ungeändert bleiben und nur

einiger Ergänzungen bedürfen, um alle hierher gehörigen physikalischen Erscheinungen vollständig zu erklären.

An die Spitze stellen wir den Satz, dass die Thätigkeit, welche die Urstoffe als qualitativ verschiedene Stoffe ausüben, eine auf kosmetischer Affinität beruhende, also zunächst Verbindung und Scheidung, nicht aber Bewegung oder Ortsveränderung bezweckende ist und dass demzufolge ein Urstofftheilchen nicht unmittelbar auf ein ausser ihm liegendes Theilchen, sondern nur auf einen denselben Raum mit ihm theilenden oder dasselbe durchdringenden Stoff chemilogisch zu wirken vermag. Der Urstoff eines ponderabelen oder eines ätherischen Theilchens wirkt daher zunächst auf den dasselbe durchdringenden Äther; ein erregtes Äthertheilchen pflanzt, da ein jedes Stück von ihm zugleich gemeinschaftliches Stück eines Nachbartheilchens ist, den Erregungszustand auf seine Nachbarschaft fort und erzeugt auf diese Weise einen Induktionsstrahl, welcher den ganzen Weltäther durchsetzt. Sind die Erregungen des induzirenden Theilchens periodisch sich wiederholende Zustände, Vibrationen, Schwingungen, Oszillationen, Pulsationen; so zeigt auch der Induktionsstrahl in jedem Punkte eine chronologische Reihenfolge solcher Pulsationen: ist die Erregung ein einmaliger, dauernd bleibender Spannungszustand; so ist der Strahl eine lineare Reihenfolge stehender Spannungszustände. Der Lichtstrahl ist ein auf periodischer Erweiterung und Verengung elementarer sphärischer Oberflächen beruhender und vornehmlich in Transversalschwingungen sich markirender Fortpflanzungsprozess, der Wärmestrahle ein auf periodischer Pendelschwingung elementarer Radian beruhender Prozess, der Gravitationsstrahl und, allgemeiner, der Induktionsstrahl ist ein auf periodischer kosmetischer Verbindung und Scheidung beruhender Prozess, welchen wir jetzt zu zergliedern haben.

Fassen wir zunächst ein im freien Zustande befindliches oder ein ungebundenes Urstofftheilchen, z. B. das positive Urstofftheilchen a (Figur 30) ins Auge. Dasselbe ruft in jeder Richtung ab des Äthers eine von Punkt zu Punkt sich fortpflanzende Scheidungstendenz hervor, in Folge deren in dem angrenzenden Äther cc' negativer Urstoff c zu ihm herangezogen und positiver Urstoff c' von ihm abgestossen wird. Der freie Äther gestattet keine Isolirung der Urstoffe; die Trennungstendenz verursacht also auf eine sehr kleine Erstreckung cc' eine Verdichtung des negativen Urstoffes gegen a hin und eine Verdünnung des positiven Urstoffes von a hinweg oder es bildet sich in dem Äther durch die Induktion des Theilchens a ein Zustand von Spannungen und Verdichtungen der Urstoffe, welche wir das Indukt von a nennen und durch die Figur cc' darstellen. Das Indukt hat zwei entgegengesetzte Seiten, eine positive oder Vorderseite c' , welche denselben Urstoff zeigt, wie der induzirende Stoff a und sich nach aussen oder gegen b kehrt, und eine negative oder Hinterseite c , welche den entgegengesetzten Urstoff zeigt und sich nach innen oder gegen a kehrt.

Der nach vorwärts getriebene positive Urstoff c' des Induktes wirkt ebenso wie der Urstoff a induzirend nach aussen; er erzeugt also das der Figur cc' ähnliche Indukt in dd' . Auf diese Weise bildet a einen Induktionsstrahl ab , welcher, wenn a eine in den Punkt a gesetzte und

alsdann darin ruhig verharrende positive Urstoffmenge ist, eine stehende Reihe von Indukten cc' , dd' u. s. w. ist.

Wie beim Licht-, Schall- und Wärmestrahle muss man auch bei der Induktion zwischen parallelen und radial sich erweiternden Strahlen unterscheiden. Ist ab ein paralleler Strahl; so sind alle Indukte cc' , dd' u. s. w. einander nach Figur und Mengenvertheilung gleich und haben gleiche Abstände: die Massen c und c' der geschiedenen Urstoffe sind auch dem induzirenden Urstoffe a proportional.

Die Figur 30 stellt übrigens den wahren Thatbestand nur in einer rohen Annäherung dar; in Wirklichkeit handelt es sich nicht um isolirte Indukte wie cc' und dd' , sondern um eine stetige Reihenfolge von Indukten, welche durch Figur 31 veranschaulicht ist. Denkt man sich von den entgegengesetzten Urstoffen, welche einen kugelförmigen oder ellipsoidischen Raum aa' erfüllen, eine gewisse Menge negativen Urstoff ein wenig nach links und eine gleiche Menge positiven Urstoff ein wenig nach rechts verschoben; so ragt über den Kern links etwas negativer und rechts etwas positiver Urstoff hervor. Lässt man diese Figur aa' in der Richtung ab stetig fortgleiten und in jedem Orte ihrer Bahn einen Niederschlag, dessen Massen den bei a und a' hervortretenden Urstoffmengen proportional sind, fallen; so hat man das richtige Bild eines parallelen Induktionsstrahles. Wir haben die elementaren Figuren in Figur 31 nur deshalb ellipsoidisch gezeichnet, weil sich daran die Scheidung der Urstoffe besser erkennen lässt. Wenn keine besondere Veranlassung zu etwas Anderem vorliegt, sind diese elementaren Figuren kugelförmig.

Indem wir jetzt zum radial sich erweiternden Strahle schreiten, ergänzen wir unsere Anschauungen in den „Naturgesetzen“ durch die gewiss sehr einleuchtende Annahme, dass sich die Indukte, welche ein Urstofftheilchen a in irgend einer Richtung ac bildet, sich wie Zerstreuungskreise proportional mit der Entfernung vom Punkte a aus vergrössern, oder dass die Induktion in einem elementaren Winkel bae Figur 32 in jeder Entfernung denselben Effekt hervorbringt. Diese proportionale Vergrößerung der Indukte betrifft übrigens nur ihre räumliche Ausdehnung und Gestalt, nicht ihre Masse. Diese Masse jedes späteren und grösseren Induktes bleibt vielmehr der des ersten gleich, das Theilchen a erregt in jeder Entfernung in dem Winkel bae immer dieselbe Äthermasse, es zieht eine scheibenförmige, sich vergrößernde, aber an Dichtigkeit abnehmende ungleichnamige Urstoffmenge gegen sich heran und stösst eine gleiche scheibenförmige gleichnamige Urstoffmenge von sich hinweg.

Wie die Indukte des Theilchens a in der Richtung ac des Strahles eine vollkommen stetige Reihe bilden; so erscheinen sie auch in den auf den Induktionsrichtungen normal stehenden Kugelflächen als vollkommen stetige Reihenfolgen. Denkt man sich nämlich den elementaren Kegelraum bae welcher in der Richtung seiner Axe eine stetige Reihenfolge von wachsenden Indukten darstellt, erst um eine auf ab normal stehende Linie gedreht und sodann die erhaltene Figur um die Axe ab gewälzt; so erhält man das Bild der Gesamtinduktion, welche der Urstoff a in dem Äther erzeugt.

Im Induktionsstrahle folgen also die geschiedenen Massen durchaus stetig aufeinander; die Scheidungsabstände oder die Radien der Indukte sind aber nicht unendlich klein, sondern nur sehr klein gegen die Entfernung vom induzirenden Punkte a , und haben in unmittelbarer Nähe des induzirenden Punktes a eine bestimmte, dem Radius der Generatrix des induzirenden Stoffes oder seines konstituierenden Elementes entsprechende Grösse.

Da der Äther das Ponderabele durchdringt; so durchdringt die Induktionswirkung des Urstoffes a alles von seinen Strahlen getroffene Ponderabele und breitet sich durch dasselbe hindurch im ganzen Weltenraume aus.

Wir nehmen an, dass die Induktion eines gegebenen Urstofftheilchens a in allen von den Induktionsstrahlen getroffenen Punkten einen der Masse a proportionalen Theil des vom Strahle getroffenen Ätherpunktes auseinander treibt oder scheidet (ohne die geschiedenen Urstoffe indess frei zu machen oder zu entbinden) und dass dieser geschiedene Theil immer nur einen sehr geringen Theil des in dem induzirten Punkte überhaupt vorhandenen Äthers ausmacht. Da die geschiedenen Urstoffe in dem getroffenen Punkte stets auf eine bestimmte Entfernung auseinandergerückt werden; so kann eine Vermehrung der Masse des induzirenden Stoffes a nur die Masse des geschiedenen Urstoffes, nicht aber die Durchmesser der Indukte vergrössern, d. h. die Induktion wirkt auf den noch ungeschiedenen oder neutralen Äther scheidend ein, treibt aber bereits geschiedene Urstoffe des Äthers nicht weiter auseinander. Das fertige Indukt bildet vielmehr ein Glied in einem gegebenen elektrostatischen Gleichgewichtssysteme, zu welchem sich durch die Induktion neu auftretender Stoffe nur neue Gleichgewichtssysteme gesellen. Demzufolge können sich beliebige Induktionssysteme im Äther ungestört bilden und das Ponderabele durchdringen. Dass das von einem Induktionsstrahle durchsetzte Ponderabele diesem Strahle eine Komponente hinzufüge und durch solche Komposition den hindurchdringenden Strahl modifizire, ist hierdurch nicht ausgeschlossen. Jeder einzelne induzirende Punkt a bildet in allen Richtungen ac des Raumes Induktionsstrahlen und sich vergrössernde Indukte. Der Mittelpunkt c der kreisförmigen Indukte stellt die Projektion des Punktes a auf die mit dem Radius ac beschriebene Kugelfläche dar. Wie sich das eine Urstofftheilchen a in allen Richtungen in dem Raume projizirt, so thut es jedes andere der Urstofftheilchen $a_1, a_2, a_3 \dots$, welche irgend eine Figur $aa_1a_2a_3$ bilden. Fasst man die Indukte aller dieser Theilchen, deren Mittelpunkte mit den induzirenden Punkten gleich lange und parallele Linien bilden, zusammen; so erhält man die Indukte der Figur $aa_1a_2a_3 \dots$. In jedem Indukte bildet die Mittelpunktsfigur einen Kern, welcher der induzirenden Figur kongruent ist, welcher sich also mit zunehmender Entfernung nicht vergrössert.

Beispielsweise erzeugt nach Figur 33 der in a existirende, aus einem positiven und einem negativen Urstoffkreise c und d bestehende induzirende Körper cd in jeder Richtung ab eine stetige Reihe mit der Entfernung ab durch Zerstreungskreise sich vergrössernder Indukte,

welche immer aus einem positiven Theile $c''d''$ und einem negativen Theile $c'd'$ bestehen. Jeder einzelne Punkt des induzirenden Körpers z. B. der Punkt c hat in dem Gesamtindukte sein elementares zerstreutes Indukt $c''c'$, in welchem der Abstand $c''c'$ dem Abstände $b''b'$ des Vorder- und Hintertheiles des Gesamtinduktes gleich ist.

Das negative Indukt $c'd'$ ist das durch Anziehung gebildete und erscheint durch den induzirenden Körper oder vielmehr durch das in der Richtung ba unmittelbar vor ihm liegende Indukt gefesselt, das positive Indukt $c''d''$ ist das durch Abstossung entstandene, welches die Induktion weiterträgt, also für Wirkungen nach aussen dispositionsfähig ist. Dieses, nicht das erstere Indukt affizirt die vom Induktionsstrahle getroffenen Objekte und zwar muss man sich den Induktionsprozess so vorstellen, dass, nachdem soeben die Affektion des Äthers bei $b'b''$ stattgefunden und das Indukt $c''d''c'd'$ gebildet hat, jetzt der nach aussen wirkende Vordertheil auf weiter vorausliegende Punkte seine scheidende Wirkung ausübt, um durch den sich erzeugenden Hintertheil den Vordertheil des vorhergehenden Induktes zu binden und durch seinen positiven Vordertheil seine scheidende Wirkung weiter hinaus zu tragen.

Der Kern aller Indukte behält stets die Grösse des induzirenden Körpers cd .

Für die Konstitution der Indukte ist es noch von Bedeutung, dass wenn ein induzirendes Urstofftheilchen, z. B. der positive Punkt c , völlig frei ist (entbundene Elektrizität darstellt), also nach keiner Seite im induzirenden Körper a durch eine elektrische Spannung gefesselt ist, auch der positive Theil c'' seines Induktes $c'c''$ von keiner speziellen Spannung in dem Gesamtindukte abhängig, also frei wirksam (wenn auch nicht entbunden oder in Freiheit gesetzt) ist. Wenn dagegen in dem induzirenden Körper cd elektrische Spannungen zwischen den Urstofftheilchen bestehen, wenn also z. B. in der Linie cae eine Spannung zwischen den Punkten c und e herrscht, welche ohne eine besondere Affektion des Äthers auf der Linie ce nicht gedacht werden kann; so bildet sich auch in dem Indukte in der korrespondirenden Linie $c''e''$ eine analoge Ätherspannung, welche die Urstofftheilchen c'' und e'' einer gleichen Beziehung unterwirft. Solche Spannungen können von zweierlei Art gedacht werden, lineare und zirkulare, d. h. Fortschritts- und Drehungsspannungen: die Indukte werden also jenachdem die Urstoffe in gewissen Theilen des induzirenden Körpers frei, oder linear gespannt, oder rotatorisch gespannt sind, in den korrespondirenden Theilen ebenfalls spannungslos, oder linear gespannt, oder rotatorisch gespannt sein.

Die Spannung, von welcher wir soeben reden, ist derjenige Widerstand, welchen die einundderselben Generatrix des induzirenden Körpers angehörigen Urstoffe ihrer Trennung oder Verschiebung entgegensetzten, oder womit sie ihre Zugehörigkeit zu derselben Generatrix behaupten. Beim Freiwerden eines Urstoffes ist dieser Zusammenhang gänzlich aufgehoben und demzufolge ist bei freiem Urstoffe von einer Spannung dieser Art im induzirenden Körper keine Rede. Nur galvanische und magnetische Elemente besitzen eine

solche Spannung und versetzen durch die von ihnen ausgehende Induktion den Äther in einen korrespondirenden Spannungszustand.

Befreiung oder Entbindung ist das Resultat der Aufhebung der kosmetischen Verbindung der Urstoffe durch eine Scheidungstendenz; Spannung dagegen ist das Resultat der Verschiebung der Urstoffe oder einer Veränderung ihrer Entfernung ohne eigentliche Trennung.

Was nun schliesslich die Vibrationen im Induktionsstrahle betrifft; so finden dieselben nicht statt, solange der induzirende Körper *a* sich in einem beharrlichen Ruhezustande befindet. Ist aber dieser Körper eine chronologische Reihenfolge von entstehenden und verschwindenden Zuständen oder Pulsationen; so ist es das Indukt an jeder Stelle des Strahles ebenfalls. Die Pulsation des induzirenden Körpers kann so beschaffen sein, dass abwechselnd ein positiver und ein negativer Zustand mit einem vollständigen Erlöschen im mittelsten Augenblicke entsteht; alsdann wird der Induktionsstrahl an jedem Orte *b* eine Reihenfolge von Zuständen darstellen, bei welchen der positive und negative Theil des Induktes abwechselnd ihre Stelle vertauschen. Diess entspricht einer Reihenfolge positiver und negativer Wirkungen, welche sich im Allgemeinen gegenseitig aufheben. Die Pulsation kann aber auch eine Reihenfolge von Impulsen sein, welche sämmtlich in demselben Sinne, d. h. dergestalt erfolgen, dass sie in dem Punkte den induzirenden Zustand erzeugen, welchen wir als induzirenden Körper *cd* dargestellt haben. Auf jeden Impuls folgt alsdann zwar unmittelbar die Tendenz zur Rückkehr in den spannungslosen Zustand oder die Tendenz zum Erlöschen; aber dieses Verschwinden kömmt bis zum nächsten Impulse nicht vollständig zu Stande, sondern wird durch diesen Impuls aufgehalten und wieder in ein Entstehen verwandelt. Der letztere Prozess ist der, welcher im Allgemeinen durch einen in *a* wirksamen eigentlichen elektrischen Motor, d. h. durch eine Kraft erzeugt wird, die elektrische Arbeit verrichtet. Der auf diese Weise zu Stande kommende Induktionsstrahl bietet in jedem Punkte *b* eine Reihenfolge von Schwingungen dar, bei welchen der positive und negative Theil des Induktes nicht abwechselnd ihre Lage vertauschen, sondern ein jeder um eine Mittellage oszillirt, sodass die Figur des Induktes mit allen ihren Spannungen dauernd aufrecht erhalten wird, indem nur ihre Grenzen mehr oder weniger vibriren, wie es Fig. 34 für den positiven Theil des Induktes aus Fig. 33 anzeigt.

13. Elektrische Induktion.

Wenn der vorstehend betrachtete, im Äther sich fortpflanzende Induktionsstrahl ein Theilchen der ponderabelen Materie trifft; so äussert das voranschreitende Indukt auf dieses Theilchen dieselbe Scheidungstendenz wie auf ein Äthertheilchen: während jedoch im Äther wegen der grossen ätherischen Affinität nur eine relative Verdichtung und Verdünnung der Urstoffe, also eine Verschiebung der Schwerpunkte kleiner Urstoffmengen ohne Entbindung möglich ist, findet im Ponderabelen wirkliche Scheidung und Trennung der Urstoffe

statt und demzufolge liefert die Induktionswirkung hier ganz andere Erscheinungen.

Zunächst haben wir die Wirkung zu betrachten, welche ein freies Urstofftheilchen durch die Induktion auf einen materiellen Körper ausübt. Diese Wirkung besteht darin, dass in jedem von dem Induktionsstrahle getroffenen Atome eine gewisse Menge der Urstoffe wirklich getrennt und in Freiheit gesetzt oder entbunden wird. Ist nun der Körper ein Isolator; so vermögen die entbundenen Urstoffe ihre Atome nicht zu verlassen; das Indukt ist daher dem im Äther entstehenden ganz ähnlich, nur grösser und zwar umso grösser, je schlechter die Isolirfähigkeit des Körpers ist.

Gehört aber das getroffene Atom einem Leiter an; so verbreitet sich der entbundene positive Urstoff in Folge der Repulsion seiner Theile über den leitenden Körper, das Nämliche thut der entbundene negative Urstoff, beide eilen nach der Oberfläche des Körpers und nehmen dort unter der Einwirkung der Repulsion ihrer gleichartigen Theile, der Repulsion des im induzirenden Körper vorhandenen gleichartigen freien Urstoffes, sowie der Repulsion aller in der Welt existirenden gleichartigen freien Urstoffe, ferner unter der Attraktion der frei gewordenen entgegengesetzten Urstoffe, der Attraktion des im induzirenden Körper vorhandenen entgegengesetzten freien Urstoffes und der Attraktion des sonstwo in der Welt existirenden entgegengesetzten freien Urstoffes die nach statischen Formeln zu bestimmende Lagerung und Dichtigkeit an, indem zwei freie Urstofftheilchen direkt proportional dem Produkte ihrer Mengen und indirekt wie das Quadrat ihrer Entfernung aufeinander wirken.

Jedes durch die Induktion eines freien Urstoffes in einem Leiter entbundene Urstofftheilchen tritt sofort als ein induzirender Urstoff auf. Dasselbe entbindet also in den von seinen Induktionsstrahlen getroffenen Körpern wiederum Urstoff; es könnte also scheinen, als ob die Entbindung von Urstoff in dem von dem Induktionsstrahle eines freien Urstofftheilchens getroffenen Körper kein Ende nähme oder als ob darin allmählich eine unendliche Menge Urstoff entbunden werden würde. Dass Diess nicht möglich ist, zeigt die Figur 35, welche die Induktion des positiven Urstoffes a auf den leitenden Stab bc darstellt. Offenbar kann nur eine ganz bestimmte Menge negativer Urstoff bei b mit ebensoviel positivem Urstoffe bei c durch die Anziehung zwischen a und b , die Abstossung zwischen a und c und die Anziehung zwischen b und c im Gleichgewichte erhalten werden. Denn wenn die induzirende Urstoffmenge bei a gleich $+m$, die Entfernung $ab = r$, $bc = a$, die entbundene negative Urstoffmenge bei b gleich $-m'$ und die entbundene positive Urstoffmenge bei c gleich $+m'$ ist; so wird der positive Urstoff bei a mit der Kraft

$$p = \frac{mm'}{r^2} - \frac{mm'}{(r+a)^2}$$

gegen den Stab bc und, umgekehrt, dieser Stab mit derselben Kraft gegen a getrieben. Der negative Urstoff bei b wird mit der Kraft

$$q = \frac{m m'}{r^2} - \frac{m'^2}{a^2}$$

gegen a hin gezogen. Der positive Urstoff bei c wird mit der Kraft

$$r = \frac{m m'}{(r + a)^2} - \frac{m'^2}{a^2}$$

in der Richtung bc fort getrieben. Nun kann die letzte Kraft r , welche abnimmt, wenn m' wächst, nicht negativ werden: denn die von c gegen b hin getriebenen positiven Urstofftheile vereinigen sich sofort mit dem negativen Urstoffe bei b ; die Kraft r kann also nur gleich null werden. Hieraus folgt, dass überhaupt die Urstoffmenge

$$m' = \left(\frac{a}{r + a} \right)^2 m$$

entbunden wird. Hierdurch werden die beiden Kräfte p und q gleich, d. h. der Druck des positiven Urstoffes bei a gegen den zwischen a und b liegenden Isolator ist gerade so gross wie der Druck des negativen Urstoffes bei b gegen denselben Isolator.

Ohne Weiteres ist der Satz klar, dass freier Urstoff in einem Leiter in allen von ihm ausgehenden Linien, soweit diese Linien ununterbrochen in dem Leiter liegen, keinen Urstoff entbindet, indem von jedem geschiedenen Urstoffe sofort der entgegengesetzte Theil ihm zueilen, sich mit ihm verbinden und neutralisiren und dadurch auch den gleichnamigen Theil vernichten würde. Befindet sich also in dem gezackten Leiter in Figur 36 bei a ein freies positives Urstofftheilchen; so kann dasselbe auf der Strecke ab keinen Urstoff entbinden, wohl aber auf den Strecken cd und ef , indem dasselbe bei c und e negativen und bei d und f positiven Urstoff fesselt, wovon der negative mit einer gewissen Kraft an die Wände gepresst wird, während der positive die Wände nur lose berührt.

Die Form der Oberfläche des Leiters hat einen grossen Einfluss auf die Vertheilung der frei gemachten Urstoffe. Offenbar muss die Resultante aller Attraktions- und Repulsionskräfte, welche auf ein Theilchen einer freien Urstoffmenge wirkt, mit dem Widerstande des angrenzenden Isolators im Gleichgewichte sein, also, wenn es sich um glatte Oberflächen handelt, auf dieser Oberfläche normal stehen.

Unverkennbar ist in allen Fällen die Art der Vertheilung der geschiedenen Urstoffe in dem Leiter das gemeinschaftliche Resultat der durch die Induktion bewirkten Scheidung der Urstoffe und der Sollizitation der geschiedenen Urstoffe. So wird die in einer Gewitterwolke entbundene positive Elektrizität im Erdkörper negative Elektrizität durch Induktion frei machen und durch Sollizitation an eine gewisse Stelle versetzen. Beide Elektrizitäten werden in jedem zwischen Wolke und Erde liegenden Leiter die Urstoffe zu trennen und in gewisser Weise zu verschieben streben. Hat ein solcher Leiter gegen die Wolke und die gedachte Stelle der Erde eine sehr konvexe Oberfläche; so wird die Verschiebung der getrennten Urstoffe unbedeutend sein. Bei genügender Spannung wird also der entstehende Blitz den zwischen Wolke und

Erde liegenden Leiter in einem Punkte berühren. Alle vorspringenden Wolkentheile verhalten sich wie dieser Leiter: der Blitz wird also im Allgemeinen einen aus geraden Linien bestehenden Weg, ein Zickzack, beschreiben und dieser Weg wird ihm schon vorher vorgeschrieben sein, ehe er entsteht.

14. Galvanische Induktion.

Der Theil eines galvanischen Stromes, welcher zwischen zwei sehr wenig voneinander abstehenden, auf der Stromaxe normal stehenden Ebenen liegt, ist ein Längenelement dieses Stromes, aber kein eigentliches galvanisches Element. Jenes Längenelement zerfällt in unendlich viel galvanische Elemente, welche den in einem Querschnitte der Leitung liegenden Generatrizen oder Elementen des Leitungsdrathes entsprechen. Ist nämlich in Figur 11 *c* eine solche Generatrix; so stellt die aus dieser Generatrix in der Stromaxe nach rechts und links getriebene und dabei expandirte, also in den Ringen *ae* und *bd* erscheinende positive und negative Urstoffmenge ein galvanisches Element dar. Die Urstoffe in diesem Elemente sind nicht völlig frei, sondern befinden sich in gegenseitiger Spannung. Die Kraft des galvanischen Motors wirkt in der Richtung der Stromaxe spannend zwischen den geschiedenen Urstoffringen *ae* und *bd* und setzt sich mit den in diesen Ringen herrschenden Repulsivkräften zu Spannungen in den Richtungen *ad* und *be* zusammen. Wie die stetige Bewegung der Generatrix den Querschnitt der Stromleitung beschreibt; so beschreibt die stetige Bewegung des galvanischen Elementes das Längenelement des Stromes.

Setzen wir in Figur 33 ein galvanisches Element an die Stelle des induzirenden Körpers *cfed*; so stellt die Gesamtfigur durch die Erzeugung der Indukte in allen Richtungen *ab* die galvanische Induktion dieses Elementes im Äther dar. Während sich mit der Entfernung des Induktes der Durchmesser der oben gedachten Urstoffringe vergrößert, bleibt doch, wie schon in Nr. 12 erwähnt ist, der Abstand zweier benachbarten galvanischen Elemente sowohl in der Richtung des Stromes, als auch in normaler Richtung vollkommen ungeändert.

Sobald der Induktionsstrahl ein Theilchen der ponderabelen Materie trifft, entsteht ein Prozess, welcher von dem im Äther abweicht und welcher in dem getroffenen Körper kein eigentlicher Induktions-, sondern ein Leitungsprozess ist. Der vordringende Theil des Ätherinduktes bewirkt jetzt eine wirkliche Scheidung und Verschiebung der Urstoffe: da sich aber der Induktionsstrahl nur im Äther, nicht im Ponderabelen fortpflanzt; so tritt der Induktionseffekt im Ponderabelen nicht in einem aus zwei entgegengesetzten Theilen bestehenden, sondern in einem einzigen Indukte zu Tage, wie wir es bereits in §. 373 der „Naturgesetze“ erläutert haben. Dieses Indukt im Ponderabelen ist auch nicht, wie das Indukt im Äther ein System von Wirkungen in lauter parallelen Richtungen und auf gleiche Entfernungen, sondern die Resultante der Wirkungen aller Theile des induzirenden Körpers auf jeden vom Induktionsstrahle getroffenen materiellen Punkt. Ist daher in Figur 37 *cd* das aus einem positiven Urstofftheilchen *c* und einem

negativen Urstofftheilchen d bestehende induzirende Element; so wird durch die Wirkung auf den Punkt b der geschiedene positive Urstoff durch d nach d' gezogen und durch c nach c'' gestossen, also nach c_1 getrieben, während der geschiedene negative Urstoff durch c nach c' gezogen und durch d nach d'' gestossen, also nach d_1 getrieben wird. Die Intensität dieser Anziehungen und Abstossungen ist nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen bd und bc zu bemessen. Stellung und Entfernung der Urstoffe c_1, d_1 im Indukte des Ponderabelen bestimmen sich hiernach einfach durch die Bedingung, dass zwischen den induzirenden und den induzirten Urstoffen c, d, c_1, d_1 unter Berücksichtigung der zwischen c und d , sowie zwischen c_1 und d_1 obwaltenden Anziehungen elektrostatisches Gleichgewicht stattfindet.

Die Richtung c_1, d_1 , in welcher die Urstoffe durch Induktion verschoben werden, hängt von der Lage des Punktes b gegen das induzirende galvanische Element cd ab. Figur 38 zeigt die Variation dieser Richtung mit der Veränderung des affizirten Punktes b . Liegt b in der Richtung der Stromaxe des galvanischen Elementes a bei b_1 ; so stimmt die Axe des Induktes mit ersterer überein; liegt b in der auf der Stromaxe normal stehenden Linie bei b_2 ; so ist die Richtung der Axe des Induktes der Stromaxe des induzirenden Elementes gerade entgegengesetzt. Dreht man den induzirten Punkt b im Kreise um das induzirende Element a in die Örter $b_1, b, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$; so rotirt die Axe des Induktes. Eine Wälzung der ganzen Ebene der Figur um die Axe von a hat keinen Einfluss auf die Axe von b .

Selbstredend kann die Verschiebung der Urstoffe in dem Indukte nur zu Stande kommen, wenn der induzirte Punkt einem leitungsfähigen Körper angehört und wenn in diesem der Punkt b einer geschlossenen Linie wie bcb angehört, welche eine Verschiebung der Urstoffe in einem Kettenschlusse gestattet. Wäre eine solche Linie nicht vorhanden, stiesse vielmehr jede von b auslaufende Linie gegen einen Isolator; so würde das induzirende galvanische Element nur eine Tendenz zur Bildung des Induktes erzeugen.

Giebt es in dem getroffenen Körper eine geschlossene Linie wie bcb und auch nur eine einzige; so wird sich in dieser die galvanische Induktion als ein kurzer Stromschlag in der Richtung bc geltend machen.

Ist der getroffene Körper von irgend einer räumlichen Ausdehnung; so giebt es darin stets geschlossene Linien; ja es giebt unendlich viele und die galvanische Induktion wird als eine kurze galvanische Strömung in allen diesen Richtungen auftreten. Die Intensität dieser momentanen Strömung wird sich über diese verschiedenen Linien nach Maassgabe ihres Widerstandes vertheilen. Den geringsten Widerstand (bei gleicher Leitungsfähigkeit des Stoffes) bietet offenbar eine Linie dar, welche im Punkte b mit der Axe bc des Induktes parallel läuft, und wir stellen den Satz auf, dass wenn sich die leitende Linie bh unter dem Winkel φ gegen die Richtung der Axe ac des Induktes neigt, sie von der Induktionswirkung nur denjenigen Theil zu realisiren vermag, welcher dem Verhältnisse $\cos \varphi$ entspricht.

Ausserdem entscheidet die Entfernung $ab = r$ über die Intensität der Induktionswirkung, indem letztere wegen des mit der Entfernung r sich vergrössernden und dadurch sich verdünnenden und an Scheidungskraft pro Flächeneinheit verlierenden Induktes unverkennbar im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates dieser Entfernung variirt, mithin generell dem Verhältnisse $\frac{\cos \varphi}{r^2}$ entspricht.

Das galvanische Element a wirkt nicht nur auf den einen Punkt b der Leitung $bhi b$, sondern auch auf jeden anderen Punkt derselben. Diese Wirkungen heben sich theilweise einander auf: die dem Elemente a am nächsten liegenden prävaliren wegen der grösseren Nähe und die der Axenrichtung bc paralleleren sind durch ihre Richtung begünstigt. Auch leuchtet ein, dass ebenso wie das eine galvanische Element a auch jedes andere galvanische Element des Längenelementes des induzirenden Stromes induktorisch wirkt und dass sich zu dieser Wirkung die Wirkungen aller übrigen Längenelemente dieses Stromes gesellen. Das Gesamtergebniss der Induktionswirkung eines galvanischen Stromes auf einen geschlossenen Leitungsdrath wird hiernach immer ein kurzer Stromschlag sein, welcher, wenn der Leitungsdrath dem induzirenden Strome eine nahe liegende parallele Strecke darbietet, die entgegengesetzte Richtung hat, wie der induzirende Strom, welcher aber, allgemein, diejenige Bewegung ist, welche die Urstoffe im ganzen induzirten Körper annehmen müssen, um sich mit den Anziehungs- und Abstossungskräften des induzirenden Körpers, sowie mit denen des induzirten Körpers und endlich mit den Widerständen der umgebenden Isolatoren ins Gleichgewicht zu setzen.

Nachdem dieser Stromschlag vorüber ist, verharren die zu negativen Indukten verschobenen Urstoffe des induzirten Körpers durch die fortgesetzte Induktionswirkung des induzirenden Stromes in der angenommenen galvanischen Spannung. In dem Augenblicke, wo der induzirende Strom erlischt, kehren sie in ihre ursprüngliche Lage zu ihren neutralen Verbindungen in den Generatrizen, welchen sie angehören, zurück, erzeugen also bei der Öffnung des induzirenden Stromes einen sogenannten Öffnungsschlag, welcher dem Schliessungsschlage entgegengesetzt ist.

Es leuchtet ein, dass Annäherung eines in galvanischer Strömung befindlichen Elementes an ein materielles Theilchen ganz dieselbe Induktionswirkung erzeugen muss, wie die Entstehung einer galvanischen Strömung in diesem Elemente, auch dass die Beseitigung oder Entfernung des Stromes ebenso wirken muss, wie Erlöschung desselben.

Es ist von Wichtigkeit, den Unterschied des Spannungszustandes, in welchem ein vom galvanischen Strome durchströmter und in welchem ein durch die Induktion eines solchen Stromes erregter Körper sich befindet, scharf zu markiren, weil dieser Unterschied das verschiedene Verhalten beider bedingt. Der Strom scheidet aus jedem Körpertheilchen periodisch Urstoff ab und treibt denselben in das Nachbartheilchen, setzt also momentan Urstoffe in den Zustand der Ungesättigtheit und lässt die ungesättigten oder augenblicklich freien entgegengesetzten

Urstoffe in verschiedenen Örtern erscheinen. In dem unter dem induzirenden Strome stehenden geschlossenen Leiter verharren die Urstoffe, nachdem sie durch den Induktionsschlag in eine bestimmte Stellung gegeneinander gebracht sind, in einem elektrostatischen Gleichgewichte, sind also gegenseitig gebunden und hierdurch in einen der Sättigung ähnlichen Zustand versetzt. Der ungesättigte Urstoff des Stromes hat die noch unerfüllte Begierde, sich mit entgegengesetztem Urstoffe zu verbinden und gleichnamigen Urstoff hinwegzutreiben, also verbundene Urstoffe in seiner Nachbarschaft zu trennen; nur ungesättigter Urstoff vermag zu induziren und zu sollicitiren. Gesättigter Urstoff dagegen, in welchem dieser Affinitätsdrang durch Verbindung befriedigt ist, und gebundener Urstoff, in welchem diese Begierde durch Gegenkräfte paralysirt ist, hat jene Fähigkeit nicht. Demzufolge äussert der von einem galvanischen Strome in Spannung erhaltene geschlossene Leiter keine Induktions- und Sollicitationskraft; er ist kein wirksames Galvanid.

Ein an dem Pole einer Batterie oder überhaupt unter dem direkten Drucke eines Galvanomotors stehender offener Leiter, welcher mit dem freien Ende gegen einen Isolator stösst, befindet sich nicht im dem Zustande des induzirten geschlossenen Leiters, gleichwohl ist derselbe nicht im natürlichen Zustande. Der Galvanomotor äussert den Drang zu galvanischer Strömung und Verschiebung, der Isolator am anderen Ende dagegen übt den Gegendruck, sodass es weder zu einem Strome, noch zu der Verschiebung des induzirten geschlossenen Leiters, sondern nur zu einer den ganzen abgeschnittenen Leiter durchdringenden Strömungstendenz kommen kann.

Dass der durch einen Strom induzirte geschlossene Leiter während der kurzen Zeit der Entstehung oder des Erlöschens seines definitiven Zustandes, also während der Erscheinung des Induktionsstromes selbst Induktionswirkungen (sekundäre Ströme, Extraströme u. s. w.) hervorbringt, ist einleuchtend.

Solange ein geschlossener Leiter unter der Induktionswirkung eines Stromes steht, dient der elektromotorische Druck dieses Stromes zur Aufrechterhaltung der Spannung und der Verschiebung der Urstoffe in jenem Leiter. Wenn beim Erlöschen des Stromes die Urstoffe dieses Leiters nicht vollkommen in ihre natürliche Lage zurückkehren, ist ein innerer Widerstand als eine jener Spannung äquivalente Kraft in Thätigkeit getreten. Gefesselt sind die Urstoffe in dem Leiter in beiden Fällen, also unfähig, Induktions- und Sollicitationswirkungen zu vollbringen.

15. Magnetische Induktion.

Das magnetische Element a (Figur 39) stellt eine Verdrehung der Urstoffe um die Axe NS dar. Ist, von N gesehen, der positive Urstoff ab von links nach rechts, der negative Urstoff ac also von rechts nach links verdreht; so bezeichnet N den Nordpol und S den Südpol der magnetischen Axe NS . In dem Umfange des magnetischen Elementes befinden sich die Urstoffe in einem Zustande, welcher die galvanische Spannung charakterisirt. Das magnetische Element bietet

daher manche Erscheinungen einer zirkularen galvanischen Spannung dar, deren Axe eine Kreislinie von kleinem Radius ist; namentlich erweist sich die magnetische Sollization mit der Sollization galvanischer Kreisströme übereinstimmend. Gleichwohl ist der Magnet kein Kreisstrom, auch nicht aus Kreisströmen zusammengesetzt, er ist überhaupt kein Bewegungs-, sondern unverkennbar ein Spannungszustand, da sich seine Kraft ohne einen Motor ungeschwächt erhält. Der Magnet wird auch nicht durch die Verschiebung zweier für ihn besonders erfundenen magnetischen Medien gebildet: das Wesen der entgegengesetzten Urstoffe erklärt alle elektrischen, galvanischen und magnetischen Erscheinungen vollständig.

Die elektrische Induktion pflanzt sich im Äther durch die Scheidungstendenz, d. h. durch die Tendenz zur Befreiung aus der kosmetischen Verbindung, die galvanische Induktion pflanzt sich durch eine Verschiebungstendenz, d. h. durch eine Tendenz zur Verdichtung und Verdünnung oder zur räumlichen Änderung der Massenvertheilung in linearer Richtung, die magnetische Induktion endlich pflanzt sich durch eine Rotationstendenz, d. h. durch eine Tendenz zur Verdrehung der Urstoffe oder zur räumlichen Änderung der Stellung der Urstoffradien fort. Für die letztere Stellungsänderung ist einerseits in Figur 39 der Winkel bac maassgebend, um welchen in einer Generatrix die zusammengehörigen positiven und negativen Urstoffradien ab und ac verdreht sind: dieser Winkel und die in den Radien ab und ac liegende Urstoffmenge sind ein Maass für die Intensität der Verdrehung. Andererseits bestimmt die auf der Ebene des Kreises abc normal stehende Linie aN die Richtung der Drehungsaxe oder die magnetische Axe. Durch diese beiden Grössen erscheint jedoch die Verdrehung immer erst als eine Relation zwischen den Urstoffen einundderselben Generatrix, noch nicht als eine Relation zwischen benachbarten Generatrizen. Die letztere Relation bedarf noch einer näheren Erörterung.

Zunächst fassen wir die Verbreitung einer magnetischen Spannung über einen Körper, wie sie bei der Magnetisirung desselben vor sich geht und nicht eigentlich einen Induktions-, sondern einen Leitungsprozess darstellt, ins Auge. Da die magnetischen Elemente kleine ebene Kreisflächen sind; so kommt die Nachbarschaft der Elemente von zwei Seiten in Betracht. Zuvörderst sind nach Figur 40 die Elemente zu erwägen, welche in der Richtung der magnetischen Axe SN aufeinander folgen. Es leuchtet ein, dass wenn in dem obersten Elemente der positive Urstoff nach ab und der negative nach ac verdreht wird, im nächst folgenden Elemente der negative Urstoff gegen die vordringende Linie ab angezogen, der positive aber abgestossen wird, dass also in diesem Elemente eine mit der ersten übereinstimmende Verdrehung herbeigeführt wird und dass sich diese Wirkung in einer Schraubenlinie bd fortpflanzt. Ebenso wie der positive Urstoff ab , veranlasst auch der negative Urstoff ac in dem benachbarten Elemente eine mit der ersten übereinstimmende Verdrehung. Trotz dieser Fortpflanzung in Schraubenlinien findet keine Torsion des positiven oder des negativen Urstoffes,

sondern nur Verdrehung des positiven Urstoffes gegen den negativen Urstoff einundderselben und der benachbarten Generatrix statt.

Betrachten wir jetzt zwei in der Ebene des Kreises abc benachbarte Elemente. Dieselben sind in Figur 41 durch zwei sich durchdringende Generatrizen dargestellt. Wenn sich in der ersten Generatrix der positive Urstoff nach ab und der negative nach ac dreht, wird in der benachbarten Generatrix der negative Urstoff von aussen gegen die andringende Linie ab nach $a'b'$ gezogen und der positive nach $a'b''$ abgestossen. Ebenso veranlasst der negative Urstoff ac eine Anziehung des positiven Urstoffes nach $a'c'$ und eine Abstossung des negativen nach $a'c''$. Der Effekt jeder dieser beiden Bewegungen ist eine übereinstimmende Verdrehung der Urstoffe in der benachbarten Generatrix. Diese Verdrehung ist die Wirkung der Fortpflanzung in der Richtung aa' , welche das Bogenelement bc veranlasst. Ebenso wirkt jedes andere Bogenelement wie de (Figur 42) in der auf ihm normal stehenden Richtung, um den Magnetismus in allen Richtungen normal zur Axe des magnetischen Elementes a zu verbreiten.

Offenbar geht die Verbreitung in der Richtung der magnetischen Axe ungleich energischer vor sich, als in jeder Seitenrichtung, weil in der ersteren alle Bogenelemente des erregenden magnetischen Elementes zusammenwirken, während in jeder Seitenrichtung nur ein einzelnes Bogenelement wirksam ist.

Auf diese Weise würde sich bei der Magnetisirung eines Stahlkörpers der Magnetismus sowohl parallel, als auch normal zur magnetischen Axe unter Konstanterhaltung der Richtung dieser Axe, mit besonderer Energie aber in Linien, welche zu dieser Axe parallel sind, verbreiten, wenn nicht die Sollicitation der magnetischen Elemente untereinander mit in Betracht käme. Da, wie sich zeigen wird, gleichnamige Pole sich abstossen und ungleichnamige sich anziehen, auch magnetische Elemente drehend aufeinander wirken; so werden zwei parallel nebeneinander sich bildende magnetische Linien sich an ihren Enden auseinanderbiegen oder sich krümmen, und je stärker die Krümmung wird, desto mehr wird dieselbe durch die Anziehung der einander gegenüber tretenden ungleichnamigen Pole jeder gekrümmten Linie befördert werden. Hiernach wird ein magnetisches Element inmitten eines Stahlkörpers magnetische Kurven nach Figur 43 erzeugen, welche aus einem Bündel magnetischer Fibern bestehen, in dessen Mitte eine gerade Fiber liegt, an die sich rings herum erst schwach, dann immer stärker und zuletzt bis zum Zusammenlauf gekrümmte Fibern anschliessen. Durch gleichzeitige Erregung von Magnetismus in mehreren Punkten kann natürlich die Vertheilungsfigur mannichfach geändert werden.

Man erkennt leicht, dass bei dieser Vertheilung des Magnetismus die rotatorische Scheidung der Urstoffe in dem Nachbarelemente eine Verstärkung der Verdrehung in dem magnetisirenden Elemente nach sich zieht. Diese Unterstützung fehlt, wenn das zu magnetisirende Element an der Rotationsebene von einem Isolator begrenzt wird, welcher keine Trennung der Urstoffe gestattet. Hiernach wird sich der Magnetismus in nadelförmigen Körpern am leichtesten so verbreiten, dass sich die

Axe der Nadel zur magnetischen Axe gestaltet, d. h. wenn die Nadel gegen die magnetische Axe des magnetisirenden Theilchens geneigt ist, wird sich die magnetisirende Kraft in eine Komponente parallel und normal zur Nadel zerlegen und nur mit der ersteren Komponente einen namhaften Effekt hervorbringen.

Das eben besprochene Verhalten betrifft die Verbreitung oder Vertheilung des Magnetismus in einem zusammenhängenden leitenden Körper, nicht die Bildung von magnetischen Induktionsstrahlen im Äther und deren Wirkung auf isolirte ponderabele Körper. Was den magnetischen Induktionsstrahl betrifft; so hat seine Entstehung eine gewisse Ähnlichkeit mit dem vorstehenden Prozesse, soweit dabei das generelle Prinzip der Übertragung von dem einen Elemente auf ein Nachbarelement in Frage kömmt. Übrigens sind dabei die Anziehungseffekte von den Abstossungseffekten zu sondern und die ersteren zu dem negativen Theile, die letzteren dagegen zu dem positiven Theile des Induktes zu vereinigen. Man findet, dass sowohl der positive Theil, welcher die Induktion weiterträgt, als auch der negative Theil, welcher durch Anziehung gefesselt wird, dieselbe Verdrehung der Urstoffe darstellt, d. h. dass in Beiden der positive Urstoff (gleichwie auch der negative Urstoff) nach derselben Seite rotirt wie in dem induzirenden Elemente, dass also der Induktionsstrahl in dem positiven Theile des Induktes eine mit dem induzirenden Element gleichartige magnetische Kraft von konstanter Axenrichtung in dem Äther fortpflanzt.

Sobald der Induktionsstrahl ein materielles Körpertheilchen trifft, äussert er seinen Induktionseffekt nicht in einem Doppelsysteme von Indukten, sondern in einer einzigen Verdrehung der Urstoffe. Da dieser Effekt die Resultante der Wirkungen aller Theile des induzirenden Elementes auf alle Theile des induzirten Elementes ist; so werden die einander am nächsten liegenden Punkte beider Elemente den Effekt in überwiegendem Maasse bestimmen.

Die vollständige Erklärung der Wirkung eines Magneten macht noch folgende Erörterung nöthig. In dem durch Figur 44 dargestellten Elemente sei ab ein positiver und ac ein negativer Urstoffradius, welche vor der Verdrehung zusammenlagen und nach der Verdrehung die Tendenz zur Wiedervereinigung haben, also die magnetische Spannung erzeugen. Ist ab_1 ein unmittelbar neben dem negativen Radius ac liegender positiver Radius, dem der verdrehte negative Radius ac_1 angehört; so müssen wir annehmen, dass eine bestimmte Rotationskraft oder ein Rotationswiderstand vorhanden sei, welcher die verdrehten zusammengehörigen Urstoffradien, da sie gegeneinander hin streben, auseinander hält. Dieser Widerstand kann ebenso gut in demselben Elemente, als auch in der Beziehung zu den in axialer Richtung benachbarten Elementen liegen, da der positive Urstoff auch gegen den negativen Urstoff der letzteren Elemente verdreht ist. Nehmen wir an, dieser Widerstand werde, wie ein Torsionswiderstand, von den Nachbarn geleistet; die über und unter dem Elemente a liegenden Nachbarn hindern also die Vereinigung der Urstoffradien ab und ac . Alsdann ist es möglich, dass die Begierde dieser beiden Radien sich zu vereinigen als eine ungesättigte, also zu den Induktionswirkungen

geeignete Tendenz fortbesteht. Die Verlegung des Widerstandes in die Nachbarelemente dürfte sich auch dadurch rechtfertigen, dass man dem Eisen und Stahl, weil sie gute galvanische Leiter sind, keinen erheblichen direkten Widerstand in der Linie $bc b_1 c_1$ zuschreiben kann.

Die durch irgend einen Widerstand festgehaltenen entgegengesetzten Urstoffradien ab und ac werden nun eine Anziehung aufeinander ausüben, in Folge deren eine gewisse Menge positiver Urstoff längs ab gegen ac hin und eine gewisse Menge negativer Urstoff längs ac gegen ab hin vordringt und in einem Zustande von unvollständiger Sättigung induktions- und sollicitationsfähig wird, dass sich also in Kreislinien um den Mittelpunkt a herum ein ungesättigter galvanischer Spannungszustand bildet, welcher dem eines Kreisstromes gleich ist. Die Richtung dieses äquivalenten fingirten Kreisstromes würde aber $bc b_1 c_1$, also die entgegengesetzte von derjenigen sein, in welcher die Urstoffe verdreht sind, wie es auch der Beobachtung entspricht (vergl. die „Naturgesetze“, §. 390). Das magnetische Element erscheint hiernach als ein zirkularer galvanischer Spannungszustand oder als ein kreisförmiges Galvanid.

Der Spannungszustand macht es begreiflich, dass ein Eisen- und Stahlkörper nur ein gewisses Maximum von magnetischer Intensität annehmen vermag, da bei dem Überschreiten einer gewissen Spannung die in den Radien ab , ac , ab' , ac' u. s. w. sich anhäufenden Urstoffe die ihrer Vereinigung entgegenstehenden Widerstände überwinden und sich verbinden werden. Wäre der Magnetismus eine wirkliche kreisförmige Strömung; so müsste jede Steigerung des Magnetismus möglich sein.

Soweit die magnetische Induktion und Sollicitation der zirkularen galvanischen Spannung zuzuschreiben ist, repräsentiren nicht die Stücke bc , $b_1 c_1$, $b_2 c_2$ u. s. w., sondern die Stücke cb_1 , $c_1 b_2$ u. s. w. die galvanischen Elemente. Bei der Untersuchung der Induktion des Galvanids $bc b_1 c_1$ hat man die gemeinschaftliche scheidende Wirkung der Urstoffe c und b_1 auf irgend ein Theilchen der Materie zu betrachten: will man statt dessen die Wirkung der eigentlichen aus verdrehten Radien bestehenden magnetischen Elemente bac , $b_1 ac_1$ betrachten; so darf man dieselbe nicht auf einunddenselben Radius lenken, sondern muss den positiven Radius ab auf einen ausserhalb des Winkels bac links von ab liegenden Radius, den negativen Radius ac aber auf einen gleichfalls ausserhalb dieses Winkels rechts von ac liegenden Radius scheidend oder verdrehend wirken lassen: denn Diess gibt dasselbe Resultat, wie wenn die beiden Urstoffe c und b_1 des galvanischen Elementes cb_1 auf einunddenselben zwischen c und b_1 liegenden Punkt scheidend einwirkten.

Wenn hiernach das magnetische Element bac auf ein in seiner Axe liegendes ponderabeles Körperelement $b'a'c'$ wirkt, welches eine entsprechende kleine Kreisfläche bildet; so affizirt der positive Urstoff b und der negative Urstoff c die Materie der Kreisfläche $b'a'c'$ dergestalt, dass ein jeder den ungleichnamigen Urstoff aus dem ausserhalb des korrespondirenden Winkels $b'a'c'$ liegenden Ringtheile zu sich heranzieht und den gleichnamigen Urstoff in diesen Ringtheil hineindrängt.

Da jedem Punkte des kreisförmigen induzirenden Elementes in derselben kürzesten Entfernung ein Punkt des induzirten Elementes gegenüberliegt; so erzeugt die Gesamtaffektion in der Kreisfläche $b'a'c'$ eine Verdrehung der Urstoffe, welche mit der des induzirenden Elementes übereinstimmt, es bildet sich also ein magnetisches Element von gleich liegender magnetischer Axe, d. h. ein solches, welches dem induzirenden Elemente den entgegengesetzten Pol zukehrt.

Wenn dagegen das induzirte Element $b''a''c''$ eine Kreisfläche ist, welche mit dem induzirenden Elemente in derselben Ebene liegt; so bestimmen die beiden einander am nächsten liegenden Punkte d und d'' das Resultat. Indem bei b'' der negative und bei c'' der positive Urstoff von aussen herangezogen wird, ergiebt sich als Induktionsresultat eine Verdrehung, welche der im induzirenden Elemente entgegengesetzt ist, es entsteht also ein magnetisches Element mit entgegengesetzter Axe oder ein solches, welches nach derselben Seite den entgegengesetzten Pol kehrt wie das induzirende Element. Aus dem bei der Verbreitung des Magnetismus angeführten Grunde ist die Induktion eines magnetischen Elementes normal zu seiner Axe ungleich schwächer, als die Induktion in der Richtung seiner Axe.

Liegt das induzirte Element in einer Linie, welche sich gegen die magnetische Axe des induzirenden Elementes neigt; so setzt sich das Resultat aus den vorstehenden beiden Komponenten zusammen, um ein magnetisches Element zu bilden, dessen Axe einen von der Richtung der Verbindungslinie abhängigen Winkel mit der Axe des induzirenden Elementes macht. Figur 45 veranschaulicht für einige Hauptstellungen die Wirkung des in der Mitte stehenden induzirenden Elementes.

Wenn man in Fig. 44 die magnetische Induktion nach der Induktion verkehrt laufender galvanischer Ströme konstruirt, wenn man also das magnetische Element bac wie einen in der Richtung bc laufenden Strom ansieht, braucht man nur zu beachten, dass der induzirte Strom die entgegengesetzte Richtung $c'b'$ oder $c''b''$ hat und dass sich in der Richtung dieses induzirten Stromes die Radian der Urstoffe des magnetischen Elementes verdrehen.

Sieht man (nach der Hypothese zweier magnetischen Fluiden) ein magnetisches Element als das Resultat der Verschiebung der Urstoffe in der zu seiner Axe parallelen Richtung an, wie wenn im Nordpole positiver und im Südpole negativer Urstoff konzentriert wäre, was jedoch dem wahren Wesen des Magnetismus nicht entspricht; so veranschaulicht Figur 38 das Induktionsresultat.

Handelt es sich nicht um die Wirkung der Induktion auf ein Element, sondern auf einen Körper von endlichen Dimensionen; so kombinirt sich die Induktion mit der Sollizitation in der vorhin beschriebenen Weise, um in dem induzirten Körper magnetische Kurven zu bilden. Ein Haufen länglicher Eisenfeilspäne verwandelt sich durch die Induktion eines Magnetstabes in lauter kleine Magneten, welche sich unter der Wirkung der Sollizitation anziehen, abstossen und drehen, und, indem sie sich berühren, zu der bekannten Figur 46 ordnen.

Soweit sich ein magnetisches Theilchen wie ein Kreisstrom betrachten lässt, hat man doch bei der Konstruktion der magnetischen Induktions-

strahlen im Äther zu beachten, dass die in Nr. 12 erörterte Vergrösserung der Indukte mit der Entfernung lediglich die Indukte der Elemente der induzirenden Figur, nicht diese Figur selbst betrifft, dass also der induzirende Kreisstrom seine Grösse nicht ändert, sondern in allen Indukten einen Kern von unveränderlicher Grösse bildet und dass nur die galvanischen Elemente dieses Kreisstromes sich in den auf der Stromrichtung normal stehenden Schnittflächen erweitern.

Wir haben im Vorstehenden nur die Induktionswirkung betrachtet, welche ein magnetisches Element auf einen verdrehbaren Körper äussert, und müssen noch der Wirkung auf einen geschlossenen Leitungsdrath, sowie, umgekehrt, der Wirkung eines galvanischen Kreisstromes auf einen verdrehbaren Körper, also der Erzeugung von Induktionsströmen durch Magneten und der Erzeugung der Elektromagneten erwähnen.

Offenbar erzeugt das magnetische Element bac (Figur 54) in dem ihm gegenüberliegenden Stücke $b'c'$ eines geschlossenen Leitungsdrathes eine Verschiebung der Urstoffe, welche mit der Verschiebung der induzirenden Urstoffe b und c gleichlaufend ist, ganz wie es den Erläuterungen zu Figur 41, 42 und 44 entspricht. Der Induktionsstrom $b'c'$ ist der galvanischen Spannung, welche in dem Umfange bc herrscht, entgegengesetzt. Wie ein galvanischer Strom durch seine dauernde galvanische Spannung nur einen kurzen Induktionsschlag hervorbringt, so erzeugt auch die dauernde galvanische Spannung im Umfange des Magneten nur einen kurzen Induktionsschlag und erhält sodann in dem induzirten Leiter, nachdem sich das elektrostatische Gleichgewicht eingestellt hat, die demselben entsprechende unwirksame Spannung aufrecht. Auch die magnetische Verdrehung, welche ein magnetisches Element erzeugt, ist kein dauernder Bewegungszustand, sondern ein Gleichgewichtszustand, in welchem jedoch galvanische Spannung fortexistirt.

Wenn umgekehrt, der galvanische Strom $b'c'$ (Figur 55) auf den verdrehbaren Körper a einwirkt; so induzirt derselbe in dem Umfange bc eine entgegengesetzte Strömung oder Bewegung der Urstoffe; dieser Strom erzeugt also einen Magnetismus, welcher dem in Figur 54 dargestellten entgegengesetzt ist. Da nun nach dem Früheren die in einem Magneten herrschende galvanische Spannung derjenigen entgegengesetzt ist, welche einem der Verdrehung seiner Urstoffe entsprechenden Strome angehören würde, und da ein Magnet nur vermöge dieser Spannung wirksam ist; so wird der in Figur 54 durch den Strom $b'c'$ erzeugte Magnet bc die gleichnamige galvanische Spannung haben, wie der Strom $b'c'$, der Elektromagnet, welcher durch einen ihn umkreisenden Strom erzeugt wird, wird sich also ebenso verhalten, wie der umkreisende Strom selbst.

Wenn die in Nr. 1 erwähnte Hypothese, dass durch die magnetische Torsion in jedem Elemente der positive Urstoff stets gegen den Nordpol oder überhaupt gegen einen bestimmten Pol und der negative Urstoff gegen den anderen Pol getrieben werde, sich bestätigen sollte; so würde sich die durch die zirkularen Spannungen bedingte Induktion mit der durch die axialen Spannungen bedingten Induktion kombiniren, und die letztere würde die erstere im Allgemeinen unterstützen. Bei der Prüfung

der Wahrscheinlichkeit dieser Hypothese hat man zu erwägen, dass die axiale Verschiebung der Urstoffe wohl als eine naturgesetzliche Begleiterin der zirkularen Verdrehung, jedoch nicht, umgekehrt, die zirkulare Verdrehung als eine nothwendige Begleiterin einer axialen oder translatorischen Verschiebung angesehen werden kann. Ein mit axial verschobenen Urstoffen nach der Theorie von zwei magnetischen Fluiden konstruirtes Element könnte nicht die Induktionserscheinungen eines Magneten, insbesondere keine zirkularen galvanischen Induktionsströme hervorbringen, da sowohl der positive, als auch der negative Urstoff eines solchen Elementes jeden Punkt des Umfanges einer normal auf der Axe stehenden Kreisleitung nach beiden Seiten der Tangente in gleicher Weise, also in tangentialer Richtung überhaupt nicht einseitig affiziren, mithin weder einen Strom nach rechts, noch einen nach links erzeugen könnte. Die Verdrehung der Urstoffe ist daher immer das wesentliche Merkmal des Magneten und die axiale Verschiebung, wenn sie stattfindet, eine Nebensache.

Dass das Streichen eines Eisenstabes mit einem Magneten ein wirksames Magnetisirungsverfahren ist, würde zwar sehr gut einleuchten, wenn nur axiale Verschiebung der Urstoffe erforderlich wäre: ist jedoch die Verdrehung unerlässlich; so macht die eventuelle Koexistenz der Verschiebung die Wirkung nicht verständlicher.

Mehr als manche anderen Erscheinungen, regen die von Wiedemann angestellten Versuche über die mechanische Torsion eines Eisendrathes, durch welchen ein galvanischer Strom geleitet wird oder war, und über das Verhalten eines Magneten beim Durchgange eines Stromes (Lehre vom Galvanismus, 2ter Theil §. 385 und 390) die Vermuthung einer axialen Verschiebung der Urstoffe an. In dem vom Strome jetzt oder früher durchflossenen Eisendrath liegt eine solche Verschiebung in der That vor und die mechanische Torquirung desselben, welche eine Verdrehung der verschobenen Urstoffe bewirkt, scheint nun einen Magneten mit verdrehten und verschobenen Urstoffen herzustellen. Dieser Anschauung steht aber die Erscheinung hindernd im Wege, dass die Polarität des Drathes wechselt, jenachdem die Torsion nach links oder nach rechts erfolgt. Wenn bei der einen Torsion der positive und bei der anderen der negative Urstoff an demselben Ende des Drathes hervortreten kann; so muss die durch den Strom bewirkte Verschiebung der Urstoffe als ganz unwesentlich und das Hervortreten nur als eine Folge der durch die Torsion bewirkten Verdrehung angesehen werden. Die Erscheinung erklärt sich weit besser, ohne für den Magnetismus die axiale Verschiebung zu bedingen: denn der durch den Drath gehende oder gegangene Strom zieht, weil er eine Trennung der Urstoffe in der Stromrichtung hervorgebracht hat, bei nachfolgender mechanischer Torsion eine Verdrehung der Urstoffe, also Magnetismus unfehlbar nach sich.

Dass ein Magnetstab beim Durchgange eines galvanischen Stromes sich torquirt und zwar nach links oder nach rechts, jenachdem der Strom hin oder her läuft, kann ebenfalls nicht die Hypothese einer axialen Verschiebung der Urstoffe im Magneten rechtfertigen, da sonst die unmittelbarste Wirkung jenes Stromes eine namhafte Verstärkung oder Verschwächung des Magnetismus sein müsste, welche nicht beobachtet

ist, und da auch jede Verstärkung und Schwächung des Magnetismus eine Torsion des Stabes zur Folge haben müsste. Die Erscheinung erklärt sich ganz gut ohne axiale Verschiebung. Denn die verdrehten positiven Urstoffpunkte und die verdrehten negativen Urstoffpunkte eines Magneten bilden Linien, welche mit der magnetischen Axe parallel laufen. Werden alle diese positiven Punkte durch einen galvanischen Strom nach der einen und alle negativen Punkte nach der anderen Seite getrieben; so bilden sich zwischen je zwei benachbarten Elementen durch die Annäherung und Entfernung jener Urstoffpunkte schräg gerichtete Spannungen, welche eine mechanische Torsion dieser Elemente hervorzubringen streben.

Man sieht, die letzteren Erscheinungen erklären sich am besten nicht durch das Vorhandensein, sondern durch den Mangel einer axialen Verschiebung der Urstoffe im Magneten. Die gewichtigsten Zweifel an der Existenz einer solchen Verschiebung begründen sich aber durch die Unabhängigkeit der Polarität des Elektromagneten von der rechts- oder linksgewundenen Schraubenform der Induktionsspirale und durch die ausschliessliche Abhängigkeit dieser Polarität von der Rotationsrichtung des Stromes.

In keinem Falle kann eine ausschliessliche axiale Verschiebung der Urstoffe ohne Verdrehung, wie sie der Theorie von zwei magnetischen Fluiden zu Grunde liegt, die Induktionserscheinungen erklären. Diess wird umso deutlicher, wenn man erwägt, dass in einer Linie ab , in welcher die Urstoffe nach Figur 31 verschoben sind, alle Zwischenpunkte durch die Zusammenwirkung gleicher positiver und negativer Urstoffmengen neutral werden und nur die beiden Endpunkte a und b wirksam bleiben.

Wenn keine Verschiebung der Urstoffe in der Axenrichtung stattfindet; so besteht doch zwischen den Urstoffen zweier benachbarten Querschnitte eine elektrische Spannung, welche wegen der Unvollkommenheit der Materie wohl ein Freiwerden von einigem Urstoff an den Magnetpolen zur Folge haben kann, gleichwie die Enden einer offenen Induktionsspirale unter dem elektromotorischen Drucke des Induktors freien Urstoff (Elektrizität) in geringen Mengen entlassen. Das Erscheinen von positivem Urstoffe am Nordpole und von negativem Urstoffe an dem Südpole rechtfertigt die Annahme, dass jene Spannung mit der Polarität des Magneten übereinstimmt, also von der Art ist, dass eine ihr entsprechende wirkliche Verschiebung der Urstoffe die in Nr. 1 bezeichnete Wirkung haben würde, und man kann immerhin sagen, im Magneten bestehe eine Tendenz zur axialen Verschiebung der Urstoffe.

16. Elektrische Sollizitation.

Sollizitation ist die aus der Anziehung ungleichnamiger und Abstossung gleichnamiger Urstoffe entspringende mechanische Wirkung. Ein Körperelement, in welchem gleich viel positiver und negativer Urstoff enthalten und gleichmässig vertheilt ist, äussert auf jedes an irgend einem Orte befindliche positive oder negative Urstofftheilchen, also auch auf jedes ponderabele Theilchen genau so viel Anziehung wie Abstossung,

seine Sollizitationsresultante ist also gleich null. Umgekehrt, ist auch die Sollizitation eines einseitigen Urstoffes auf ein materielles Theilchen, insofern darin gleich viel entgegengesetzte Urstoffe enthalten und gleichmässig vertheilt sind, gleich null. Die Sollizitation zweier Elemente ist daher durch die örtliche Sonderung gewisser Urstoffmengen und die Lage, welche dieselben gegeneinander einnehmen, bedingt. Die örtliche Vertheilung der geschiedenen Urstoffe kann zwar durch die Sollizitation geändert werden, die Scheidung selbst aber kann nicht durch Sollizitation, sondern nur durch Induktion oder andere elektromotorische Kräfte erzeugt werden; sie ist daher, wenn es sich um Sollizitation handelt, als ein gegebener Zustand der beiden Elemente zu betrachten.

So werden die freien Urstoffe, welche sich in zwei leitenden Körpern befinden, durch die Sollizitation in ganz bestimmter Weise an der Oberfläche dieser Körper vertheilt. Über diese Oberfläche hinauszutreten werden sie von dem angrenzenden Isolator gehindert: demzufolge bedingt die Sollizitation der an diesen Oberflächen aufgehaltenen Urstoffe eine Anziehung oder Abstossung der ponderablen Körper, in welchen jene freien Urstoffe sich befinden, und diese mechanische Wirkung ist die elektrische Sollizitation. Dieselbe bestimmt sich durch den Fundamentalsatz, dass eine jede elementare einfache Urstoffmenge m eine andere elementare Urstoffmenge m' direkt wie das Produkt $m m'$ und indirekt wie das Quadrat ihres Abstandes r anzieht oder abstösst, jenachdem m und m' entgegengesetzte oder gleiche Zeichen haben, dass also die Sollizitation

$$p = \frac{\alpha m m'}{r^2}$$

ist, worin α einen konstanten Koeffizienten bezeichnet.

Diese Sollizitation ist ebenso wie die Induktion und auch wie die Gravitation eine Affektion, welche sich von den sollizitirenden Elementen unmittelbar gegen den sie durchdringenden Äther äussert, von dem Äther in Induktionsstrahlen, welche sich konisch erweitern, nach allen Seiten fortgepflanzt wird und da, wo ein solcher Strahl ein ponderabilisirtes Urstoffelement trifft, dasselbe zu sich heranzieht oder von sich abstösst, jenachdem der voranschreitende Vordertheil des Induktes mit diesem Urstoffe ungleichnamig oder gleichnamig ist. Die Sollizitation und Gravitation ist daher durchaus keine Fernwirkung (welche schon im Prinzip als eine Unmöglichkeit gelten muss), sie ist auch keine direkte Wirkung zwischen materiellen Theilen, sondern eine direkte Wirkung zwischen der Materie und dem Äther, welche allein die Anziehungen, Abstossungen, Seitenverschiebungen und Drehungen zu erklären vermag, welche ein Körper auf einen davon getrennten Körper ausübt.

Es liegt auf der Hand, dass ein Element, welches einen sich konisch erweiternden Ätherstrahl erzeugt, auf jede Fläche, welche die Basis eines gegebenen konischen Winkels bildet, einunddieselbe lebendige Kraft ausstrahlt oder einunddieselbe Menge bewegender Kraft entwickelt

und dass, wenn jenes Element eine kleine Kugel bildet, diese bewegende Kraft dem konischen Winkel proportional ist oder dass sie denjenigen Theil der Gesamtenergie jenes Elementes darstellt, welcher dem Verhältnisse des konischen Wirkungswinkels zu dem vollen Kugelwinkel entspricht.

Wenn in Fig. 47 die Kugel a vom Halbmesser ϱ das sollizitirende Element ist; so strahlt dasselbe auf ein gleich grosses Element $b_1 c_1$ in der Entfernung $a b_1 = r$ den dem konischen Winkel $b a c$ entsprechenden Theil seiner Gesamtkraft P aus. Dieser Theil ist

$$p = \frac{\varrho^2 \pi}{4 r^2 \pi} \quad P = \frac{\varrho^2 P}{4} \cdot \frac{1}{r^2}$$

Da die bestrahlte Basis des Elementes $b_1 c_1$ gleich $\varrho^2 \pi$ ist; so hat die Sollizitationskraft pro Flächeneinheit dieser Basis den Werth $\frac{P}{4 \pi} \cdot \frac{1}{r^2}$. Diese Kraft pro Flächeneinheit, sowie die auf das ganze sollizitirende Element kommende Kraft variirt umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung r . In der n -fachen Entfernung $a b_2$ fallen n^2 Elemente in denselben konischen Winkel, die Kraft p vertheilt sich also über n^2 solcher Elemente.

In einer vollkommen stetigen und isotropen Masse kann man dem kugelförmigen Elemente a jede beliebige sehr kleine Grösse geben; in einer durch Generatrizen gebildeten Masse hat die kleinste Kugel a die Grösse einer Generatrix, welche sich sukzessiv im Raume verschiebt: das Resultat der elektrischen Sollizitation freier Urstoffe wird hierdurch nicht beeinflusst.

17. Galvanische Sollizitation.

Ein galvanischer Strom von endlichem Querschnitte zerfällt in elementare Stromfäden von unendlich kleinem Querschnitte. Ein Längenelement eines solchen Stromfadens bildet ein räumliches Stromelement. Jedem solchen räumlichen Elemente gehört ein System von zwei entgegengesetzten Urstoffringen an, welche das eigentliche galvanische Element darstellen. Die beiden Urstoffringe $a e$ und $b d$ (Fig. 11) sind zwei gleiche Kreise vom Radius ϱ , welche die Basis zweier gleichen Kegel $a c e$ und $b c d$ bilden, deren gemeinschaftliche Spitze c der Mittelpunkt des galvanischen Elementes ist. Eine durch die Stromaxe $h k$ gehende Ebene schneidet das Element in zwei Durchmessern $a d$ und $b e$. Jeder Durchmesser wie $a d$ gehört mit der einen Hälfte $c a$ dem positiven und mit der anderen Hälfte $c d$ dem negativen Urstoffe an und bildet einen sollizitirenden Durchmesser, welcher sich mit einem gleichliegenden Durchmesser des sollizitirten Elementes in Wechselwirkung setzt. Da schliesslich die Sollizitation der Elemente doch zusammengesetzt werden muss, um die Sollizitation endlicher Ströme zu erhalten; so ist es nicht gerade nothwendig, von der Betrachtung der durch den galvanischen Strom unmittelbar erzeugten Elemente auszugehen: es steht Nichts im Wege, diejenigen Kraftsysteme zu betrachten, welche sich in den räumlichen Elementen

des Stromes realisiren; ja, diese Zerlegung des ganzen Stromes ist sogar die natürlichere, weil die Summation der Wirkungen dieser Elementarsysteme unmittelbar die Wirkung der von jedem begrenzten Raumtheile des Stromes ausgehenden Gesamtwirkung ergiebt. An das in Figur 11 dargestellte Element reiht sich durch sukzessive Verschiebung in der Stromrichtung in stetiger Folge eines nach dem anderen: man kann also, wenn man die Kräfte ins Auge fassen will, welche sich in einem bei h genommenen Querschnitte des Stromes geltend machen, die Wirkung des in diesem Querschnitte liegenden positiven Urstoffringes ae mit demjenigen negativen Urstoffringe betrachten, welcher in demselben Querschnitte liegt, aber dem galvanischen Elemente hk_1 angehört. Während dann ac der dem positiven Urstofftheilchen in der Ebene $acec_1$ angehörige Radiusvektor ist, ist der zugehörige Radiusvektor des negativen Urstoffes die Linie ec_1 . Der durch den Elektromotor in a festgehaltene positive Urstoff strebt nach c , der in e festgehaltene negative Urstoff dagegen nach c_1 , und man kann diese beiden entgegengesetzten Urstoffpunkte wie zwei zueinander hin strebende, aber durch den elektromotorischen Druck vermittelt einer in dem Durchmesser ae wirkenden Spannung auseinander gehaltene Punkte ansehen.

Indem wir die in einem Querschnitte ae liegenden elektrodynamischen Kräfte als das im Nachstehenden der Rechnung zu unterwerfende galvanische Element betrachten, haben wir es gewissermaassen mit einem positiven und einem negativen Urstoffringe von gleichem Radius und Mittelpunkte zu thun, von welchen der eine auf der Vorderseite und der andere auf der Hinterseite der Ebene des Querschnittes ae liegend gedacht werden kann.

Ist nun in derselben Querschnittebene des Stromes nach Fig. 48 ab ein Durchmesser des Urstoffringes eines galvanischen Elementes; so gehört derselbe mit der einen Hälfte da dem positiven und mit der anderen Hälfte db dem negativen Kegel an; ein Radius wie da repräsentirt also einen Winkelausschnitt der positiven Ringfläche, an dessen Endpunkte a sich oberhalb der Ebene eine dem ausgeschnittenen Elemente des Ringes entsprechende positive Urstoffmenge befindet, während am Ende b des entgegengesetzten Radius db unterhalb der Ebene eine gleich grosse negative Urstoffmenge liegt. In derselben Richtung, jedoch auf entgegengesetzten Seiten der Ebene existirt auch der Durchmesser $a'b'$. Die beiden Durchmesser ab und $a'b'$ haben eine entgegengesetzte Lage oder entstehen aus einander durch Vertauschung der Urstoffe; sie äussern also entgegengesetzte Sollicitationskräfte (was der eine anzieht, stösst der andere ab, und wenn der eine Etwas anzieht, zieht der andere den Gegensatz davon an). Wir unterscheiden daher den positiven Durchmesser ab von dem negativen Durchmesser $a'b'$ und fixiren den ersten dadurch, dass wir seinen positiven Radius da für den Blick gegen die Ebene des Papiers durch eine Drehung von 90° aus der positiven Axenrichtung dc von rechts nach links herum entstanden ansehen. Hierdurch ist für den in der Ebene des Papiers liegenden Durchschnitt eines galvanischen Elementes, welche Richtung seine Axe auch haben möge, der positive und der negative

Durchmesser genau definirt, wie es Fig. 49 zeigt. Denkt man sich diese Figur um eine in der Ebene des Papiers liegende Linie gewälzt; so bringt man die Stromaxe dc in jede mögliche Richtung des Raumes. In keiner dieser Lagen bleibt ein Zweifel über den positiven und den negativen Durchmesser des Elementes. Es giebt kein absolutes Kriterium für den positiven Durchmesser, d. h. es kann von Haus aus sowohl ab , als auch $a'b'$ als positiver Durchmesser angenommen werden; immer aber zeigt Fig. 49, dass in allen gezeichneten Elementen ab die zusammengehörigen und $a'b'$ wiederum die zusammengehörigen entgegengesetzten Durchmesser sind.

Es kömmt jetzt darauf an, die Bildung der Induktionsstrahlen, womit ein galvanisches Element nach aussen wirkt, festzustellen, insbesondere zu zeigen, wie das Element in einer gegebenen Richtung des Raumes wirkt. Zu dem Ende legen wir in Figur 50 durch die Strahlungslinie de und die Axe dc des Elementes die Ebene cde , welche die Ebene des Elementes in der Linie pq schneidet, zerlegen das Element durch unendlich benachbarte Parallelebenen in unendlich schmale zu pq parallele Streifen wie z. B. ak und bl , welche an ihren Enden a und b unendlich kleine Theile der Urstoffringe enthalten, und untersuchen die aus diesen Streifen herstammenden Wirkungen, welche sich in der zugehörigen zu cde parallelen Ebene fortpflanzen. Der auf pq normal stehende Durchmesser fg trennt das Element in zwei Hälften. In der ersten Hälfte betrachten wir den positiven Halbkreis $fapg$ und in der zweiten Hälfte den negativen Halbkreis $gbqf$, d. h. indem wir durch den Mittelpunkt den beliebigen Durchmesser ab ziehen, berücksichtigen wir den am Endpunkte a liegenden positiven und den am Endpunkte b liegenden negativen Urstoff. Hierdurch wird das aus dem positiven Halbkreise fpg und aus dem negativen Halbkreise gqf bestehende System der Repräsentant der positiven Hälfte des galvanischen Elementes, während die negative Hälfte in dem Halbkreise fpg den negativen und in dem Halbkreise gqf den negativen Urstoff enthält.

Da es sich um die parallel zur Ebene cdp fortgepflanzten Wirkungen handelt; so wirkt das positive Urstofftheilchen a nicht anders wie ein in der Linie pq bei m in dem Abstände $dm = ha$ liegendes Theilchen von gleicher Masse, und das negative Urstofftheilchen b wirkt nicht anders wie ein in der Linie pq bei n in dem Abstand $dn = ib$ liegendes Theilchen von gleicher Masse. Die ganze positive Hälfte des Elementes wirkt also ebenso wie der in den Radius dp parallel zu fg transportirte halbe positive Urstoffring fpg und der in den Radius dq parallel zu fg transportirte halbe negative Urstoffring gqf . Ist daher α der Abstand des Schwerpunktes einer mit dem Radius 1 beschriebenen Halbkreislinie vom Mittelpunkte; so stellt αq die Entfernung $dr = ds$ dar, in welcher man sich die halbe Masse des positiven, resp. negativen Urstoffringes vom Mittelpunkte d in der Linie pq aufgestellt zu denken hat, um ein System zu erhalten, welches, wenn es durch das eine andere Hälfte des galvanischen Elementes bildende ent-

gegegengesetzte System ergänzt wird, in der Ebene cdp ebenso induziert und sollizitirt wie das Element selbst.

Hiernach setzen wir in Fig. 51 für die Sollizitation in der Richtung dd' an die Stelle des sollizitirenden Elementes die auf entgegengesetzten Seiten des Mittelpunktes d in den Entfernungen $da = db = \alpha \cdot \beta$ in den Punkten a und b liegenden positiven und negativen Urstoffmassen, welche die je halben Mengen der in dem Elemente wirkenden Urstoffe darstellen und deren Verbindungslinie $ab = 2\alpha\varrho$ den Durchschnitt der durch die Sollizitationsrichtung dd' und die galvanische Axe dc gelegten Ebene $cd d'$ mit der Ebene des auf der Axe cd normal stehenden Querschnittes des Stromes bildet. Das System ab heisse der sollizitirende Durchmesser des galvanischen Elementes d für die Sollizitationsrichtung dd' . Trifft der Sollizitationsstrahl jenes Elementes bei d' ein zweites galvanisches Element, dessen Axe $d'c'$ in derselben Ebene $cd d'c'$ liegt; so wird auch der sollizitirende Durchmesser $a'b'$ dieses zweiten Elementes für die Sollizitationsrichtung $d'd$ in dieser Ebene liegen. Der Durchmesser eines Elementes, welcher für die aktive Thätigkeit dieses Elementes der sollizitirende ist, ist für die passive Thätigkeit desselben bei der Zusammenwirkung mit einem zweiten Elemente der sollizitirte. Es bedarf also nur, die Anziehung und Abstossung, welche der positive Urstoff a auf den negativen b' und den positiven a' , sowie die Anziehung und Abstossung, welche der negative Urstoff b auf den positiven a' und den negativen b' nach Maassgabe des umgekehrten Quadrates der betreffenden Entfernungen und in den betreffenden Richtungen ausübt, in Rechnung zu stellen, um den Sollizitationseffekt zwischen diesen beiden Elementen zu erhalten. Wir wollen dieser Ausrechnung jedoch die Charakteristik des allgemeinen Falles, wo die Stromaxen dc und $d'c'$ mit der Sollizitationsrichtung dd' nicht in einer Ebene liegen, voranschicken.

Die Ebene der Querschnitte der beiden Ströme, denen die Elemente d und d' angehören, schneiden sich in einer Linie, welche auf der Sollizitationsebene $cd d'c'$ normal steht. Dieser Linie sind die in Figur 50 und 51 gezeichneten Durchmesser fg und $f'g'$ parallel, welche auf ab und $a'b'$ normal stehen. Hieraus erkennt man, dass die sollizitirenden Durchmesser ab und $a'b'$ mit denen übereinstimmen, welche in §. 375 der „Naturgesetze“ dafür ausgegeben sind. Die jetzige Darstellung weicht, was die sollizitirenden Durchmesser betrifft, nur für den Fall ab, dass die Axen der Elemente mit der Sollizitationslinie nicht in einer Ebene liegen. Für diesen allgemeinen Fall ergänzen wir unsere frühere Theorie durch den Satz, dass eine unmittelbare Sollizitation nur zwischen den Strahlen stattfindet, welche sich in derselben Ebene ausbreiten. Wenn daher die Stromaxen dc und $d'c'$ mit der Sollizitationslinie dd' nicht in dieselbe Ebene fallen, ist die Sollizitation das Resultat der Dekomposition der Wirkungen in solche, welche in gleichen Ebenen liegen.

Die Komposition und Dekomposition der Sollizitationswirkungen galvanischer Elemente vollzieht sich unverkennbar nach folgendem einfachen Gesetze. Ein Stromstück von der Axenlänge s ist ein Inbegriff von sukzessiv aufeinander folgenden Elementen; seine Sollizitationskraft ist

daher der Länge s proportional. Macht s mit drei beliebigen rechtwinkligen Koordinatenaxen $O X$, $O Y$, $O Z$ die Winkel φ , ψ , χ , sind also $s \cos \varphi = x$, $s \cos \psi = y$, $s \cos \chi = z$ die Projektionen von s auf diese drei Axen, so erscheint, wenn s verschwindend klein ist, also ein Längenelement des Stromes oder ein Stromelement darstellt, die Wirkung desselben gleich der Wirkung der Längenelemente x , y , z dreier in den Richtungen $O X$, $O Y$, $O Z$ fließenden Ströme. Auf diese Weise zerlegt sich die Wirkung des Elementes s in die von drei rechtwinklig aufeinander stehenden Elementen x , y , z . Diese Zerlegung betrifft natürlich nur die Länge des Stromelementes s , nicht seinen Querschnitt, welcher für alle drei Komponenten x , y , z der von s selbst ist.

Indem wir die Sollizitationskraft des Stromelementes s der Kraft der drei Elemente x , y , z mit den Stromaxen $O X$, $O Y$, $O Z$ äquivalent setzen, behaupten wir doch nicht, dass dieses Element ein zweites Element s' , dessen Komponenten x' , y' , z' sind, ebenso sollizitiere, wie wenn die parallelen Komponenten x und x' , y und y' , z und z' zusammenwirkten. Allerdings steht an der Spitze unserer Theorie der Satz, dass nur Sollizitationskräfte, welche in einundderselben Ebene wirken, sich miteinander verschmelzen: allein eben Diess stiftet eine Bedingung für die Richtung der sich verschmelzenden Komponenten, womit die beiden Elemente s und s' ihre gegenseitige Sollizitation erschöpfen. Diese Komponenten nennen wir die natürlichen Komponenten ξ , η , ζ und ihre Axen die natürlichen Sollizitationsaxen jener beiden Elemente und bestimmen sie folgendermaassen.

Die erste oder die natürliche Grundaxe der Sollizitation ist die Sollizitationslinie selbst, also die Verbindungslinie $O O' = r$ der beiden in O und O' wirksamen Elemente $O S = s$ und $O' S' = s'$ (Fig. 52); wir nehmen sie zur Axe der z oder ζ . Die beiden sekundären Axen der Sollizitation liegen in der auf der Sollizitationslinie normal stehenden Ebene. Es wird sich zeigen, dass jede beliebigen zwei rechtwinkligen Axen in dieser Ebene zu den sekundären Axen der x und der y genommen werden können oder mögliche sekundäre Axen sind; indessen gereicht es zur vollkommenen Erkenntniss des Wesens der galvanischen Sollizitation, wenn wir sogleich die wirklichen sekundären Axen bezeichnen. Wenn $O R$ und $O' R'$ die Projektionen der Elemente s und s' auf die Normalebene der Linie r sind; so ist die Diagonale des über diesen beiden Projektionen entworfenen Parallelogrammes, also die in Figur 53 dargestellte Linie $O Q$ die Richtung der zweiten natürlichen Sollizitationsaxe oder die der η und die normal darauf stehende Linie $O P$ die Richtung der dritten natürlichen Sollizitationsaxe oder die der ξ . Eine Zerlegung der beiden Elemente s und s' auf die drei natürlichen Axen $O P$, $O Q$, $O Z$ (Figur 52 und 53) giebt für s die Komponenten $O U = \xi$, $O V = \eta$, $O Z = \zeta$ und für s' die Komponenten $O U' = \xi'$, $O V' = \eta'$, $O' Z' = \zeta'$. Die beiden natürlichen Komponenten ξ und ξ' werden immer der Grösse nach gleich, dem Zeichen nach aber entgegengesetzt sein, sie repräsentiren also zwei gleich starke, einander entgegenlaufende Ströme. Die beiden natürlichen Komponenten η und η' können gleiche und entgegengesetzte Zeichen haben; ihre algebraische

Summe ist stets gleich der Diagonalen OQ . Die beiden natürlichen Komponenten ζ und ζ' können gleiche und verschiedene Zeichen haben.

Wir haben vorhin bemerkt, dass die Lage der beiden rechtwinkligen Axen der ξ und η in der Normalebene auf r irrelevant sei und wollen diese Behauptung beweisen, indem wir die Rechnung für zwei beliebige Axen OX und OY in dieser Ebene weiterführen, also für s die Komponenten x, y, z und für s' die Komponenten x', y', z' unter der alleinigen Bedingung setzen, dass die Koordinaten z und z' in der Verbindungslinie r der beiden Elemente liegen. Jenachdem eine dieser sechs Komponenten positiv oder negativ ist, bezeichnet sie einen in der betreffenden positiven Koordinatenrichtung von O hinweg laufenden, resp. einen in entgegengesetzter Richtung laufenden Strom.

Betrachten wir zunächst zwei positive Komponenten x und x' , deren Axen also parallel sind und in der Entfernung $OO' = r$ auf der Linie OO' normal stehen (Figur 56). Ein Strom ist ein Inbegriff von lauter gleichen galvanischen Elementen, d. h. von Elementen, welche eine gewisse Menge m von positivem und negativem Urstoff enthalten, die an einem sollizitirenden Durchmesser von gegebener Länge aufgestellt sind. Diese Länge $2\alpha\rho$ ist nach Obigem ein ganz bestimmter, für alle Intensitäten und Leitungsstoffe gleicher Theil des Durchmessers 2ρ der elementaren Urstoffringe. Der Koeffizient α ist also für alle Intensitäten und Stoffe konstant; wir unterdrücken denselben daher vorläufig und bezeichnen den sollizitirenden Durchmesser des einen Stromes mit ρ und den des anderen mit ρ' , indem wir zulassen, dass die Grösse des elementaren Urstoffringes einen von dem Leitungsstoffe abhängigen Werth annehmen könne, während sie von der Intensität oder der in dem Ringe enthaltenen Urstoffmenge unabhängig bleibt. Die beiden Ströme s und s' erscheinen hiernach wie zwei Elemente, welche die positiven und negativen Urstoffmengen ms und $m's'$ im gegenseitigen Abstände $ab = 2\rho$ und $a'b' = 2\rho'$ enthalten. Ebendasselbe gilt von zwei Komponenten x und x' dieser Ströme; dieselben erscheinen in Figur 56 wie zwei Elemente, welche die Urstoffmengen mx und $m'x'$ in dem Abstände $ab = 2\rho$ und $a'b' = 2\rho'$ enthalten. Beide Elemente sollizitiren sich in der Ebene $XOO'X'$. Haben x und x' gleiche Zeichen; so kehren sich gleichnamige Urstoffe a und a' , sowie b und b' nach denselben Seiten: haben x und x' verschiedene Zeichen; so kehren sich gleichnamige Urstoffe nach entgegengesetzten Seiten. In der nachstehenden Rechnung liefern die wirklichen Zeichen von x und x' die wirklichen Effekte.

Indem wir die Entfernung OO' der Mittelpunkte der beiden Elemente x und x' mit r bezeichnen, ist $aa' = r + \rho - \rho'$, $bb' = r - \rho + \rho'$, $ab' = r + \rho + \rho'$, $ba' = r - \rho - \rho'$. Die Sollizitation der beiden Elemente ist eine in der Linie OO' wirkende Anziehungs- oder Abstossungskraft, welche, da die Kraft jedes Urstoffes im umgekehrten Quadrate der Entfernung variirt, und da die aufeinander wirkenden Massen mx und $m'x'$ sind, folgenden Werth hat

$$X = mm'xx' \left\{ \frac{1}{(r - \rho - \rho')^2} + \frac{1}{(r + \rho + \rho')^2} - \frac{1}{(r - \rho + \rho')^2} - \frac{1}{(r + \rho - \rho')^2} \right\}$$

Da ϱ verschwindend klein gegen r ist, so reduziert sich dieser Ausdruck auf

$$X = \frac{24 \varrho \varrho'}{r^4} m m' x x'$$

Jenachdem das Produkt $x x'$ positiv oder negativ ist, stellt X eine Anziehung oder eine Abstossung dar.

Die beiden Komponenten y und y' ergeben eine ganz analoge Formel

$$Y = \frac{24 \varrho \varrho'}{r^4} m m' y y'$$

welche eine Anziehung oder eine Abstossung darstellt, jenachdem das Produkt $y y'$ positiv oder negativ ist.

Die beiden Komponenten z und z' mit den Urstoffmengen $m z$ und $m' z'$ haben ihre Axen in der Linie $O O'$ (Figur 57). Die Urstoffe $\pm m z$ und $\pm m' z'$ stehen also rechts und links von der Verbindungslinie $O O'$ resp. in den Abständen ϱ und ϱ' . Der Urstoff a sollizitirt die Urstoffe a' und b' in den Richtungen $a a'$ und $a b'$, während der Urstoff b jene Urstoffe in den Richtungen $b a'$ und $b b'$ sollizitirt. Da wir die in der Richtung $O O'$ liegende Resultante aller dieser Sollicitationen suchen; so ist von den in jenen Richtungen wirkenden Kräften nur die Komponente parallel zu $O O'$ zu nehmen. Indem wir $a b' = b a' = t$, $a a' = b b' = t_1$ setzen, wird die Komponente einer längs $a b'$ oder $b a'$ wirkenden Kraft vom Betrage $\frac{1}{t^2}$ gleich $\frac{1}{t^2} \frac{r}{t} = \frac{r}{t^3}$ und die Komponente einer längs $a a'$ oder $b b'$ wirkenden Kraft vom Betrage $\frac{1}{t_1^2}$ gleich $\frac{1}{t_1^2} \cdot \frac{r}{t_1} = \frac{r}{t_1^3}$. Hiernach ist die Summe der vier Komponenten

$$Z = m m' z z' \left(\frac{2r}{t^3} - \frac{2r}{t_1^3} \right)$$

Nun ist $t^2 = r^2 + (\varrho + \varrho')^2$ und $t_1^2 = r^2 + (\varrho - \varrho')^2$, also bei Unterdrückung der verschwindenden Glieder

$$t^3 = r^3 \left(1 + \frac{(\varrho + \varrho')^2}{r^2} \right)^{\frac{3}{2}} = r^3 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{(\varrho + \varrho')^2}{r^2} \right)$$

$$t_1^3 = r^3 \left(1 + \frac{(\varrho - \varrho')^2}{r^2} \right)^{\frac{3}{2}} = r^3 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{(\varrho - \varrho')^2}{r^2} \right)$$

Hierdurch ergibt sich

$$Z = - \frac{12 \varrho \varrho'}{r^4} m m' z z'$$

Dieser Ausdruck stellt eine Abstossung oder eine Anziehung dar, jenachdem das Produkt $z z'$ positiv (wie in der Zeichnung) oder negativ ist. Was für diese dritte Komponente Z die Lage der sollizitirenden Durchmesser ab und $a'b'$ in den auf der Linie $O O'$ normal stehenden Querschnitten betrifft; so ist dieselbe ganz irrelevant: man kann jede

beliebige dafür nehmen, also diese Querschnitte durch jeden beliebigen Durchmesser in die beiden Hälften zerlegen, deren positiver Urstoff durch a und deren negativer Urstoff durch b repräsentirt ist. Man kann einen jeden dieser Querschnitte aber auch durch unendlich viel verschiedene Durchmesser halbiren und auf jeden der daraus entspringenden unendlich vielen sollizitirenden Durchmesser einen unendlich kleinen Theil des positiven und negativen Urstoffes des ganzen Querschnittes nehmen, um jeden dieser Durchmesser des Querschnittes O mit dem parallelen Durchmesser des Querschnittes O' in Sollizitationswirkung zu setzen. Die Summirung dieser partiellen Effekte giebt für Z immer denselben Werth.

Die Gesamtsollizitation p , womit das Element s und s' oder, umgekehrt, s' auf s wirkt, ist die Summe der drei Kräfte X, Y, Z ; man hat für dieselbe

$$p = \frac{24 \varrho \varrho' m m'}{r^4} \left(x x' + y y' - \frac{1}{2} z z' \right) \\ = \frac{24 \varrho \varrho' m m'}{r^4} \left(x x' + y y' + z z' - \frac{3}{2} z z' \right)$$

Bezeichnet man die Winkel, welche die Stromaxen von s und s' mit der Sollizitationslinie r bilden, resp. mit α und α' , den Winkel aber, welchen sie mit einander bilden, mit γ ; so ist

$$\frac{z}{s} = \cos \alpha, \quad \frac{z'}{s'} = \cos \alpha', \quad \frac{x}{s} \frac{x'}{s'} + \frac{y}{s} \frac{y'}{s'} + \frac{z}{s} \frac{z'}{s'} = \cos \gamma,$$

mithin

$$p = \frac{24 \varrho \varrho' m m' s s'}{r^4} \left(\cos \gamma - \frac{3}{2} \cos \alpha \cos \alpha' \right)$$

Dieser Werth von p ist von der Richtung der beiden sekundären Sollizitationsaxen $O X$ und $O Y$ in der auf r normal stehenden Ebene völlig unabhängig, wie wir bereits angekündigt haben, es ist also gleichgültig, wie man die auf r normal stehenden Komponenten von s und s' in zwei rechtwinklige und parallele Komponenten x, x' und y, y' zerlegt. Die natürlichen Komponenten sind die vorhin bezeichneten ξ, ξ' und η, η' , deren Richtungen wir genau definirt haben.

Nach der vorstehenden Ableitung stellt p die von den positiven Hälften der in den Strömen s und s' enthaltenen galvanischen Elemente herrührende Sollizitationskraft dar. Einen gleichen Werth mit gleichem Zeichen liefern die negativen Hälften; der Werth von p muss also verdoppelt werden, um die volle Sollizitationskraft darzustellen.

Indem wir die Urstoffringe des galvanischen Elementes in positive Durchmesser $a b$ und negative Durchmesser $a' b'$ zerlegen und die positiven nur auf die positiven, sowie die negativen nur auf die negativen wirken lassen, indem wir dann ferner jedes Element in drei rechtwinklige Komponenten zerlegen, von welchen die eine der Verbindungslinie und die anderen beiden zwei normal darauf stehenden Axen parallel sind, und indem wir endlich nur die einer Koordinatenaxe parallelen Komponenten in gegenseitige Wechselwirkung setzen, begründen wir folgendes galvanische Sollizitationsgesetz.

Zwei galvanische Elemente vermögen eine Wirkung aufeinander nur durch parallele und gleichnamige Sollizitationsdurchmesser auszuüben und sie üben diese Wirkung thatsächlich durch alle möglichen parallelen Durchmesserpaare aus, von denen jedes selbstredend immer in einer durch die Verbindungslinie gehenden Sollizitationsebene liegt.

In der Formel für p bezeichnen m und m' die Urstoffmengen, welche in der Zeiteinheit durch den ganzen Querschnitt der Ströme s und s' gehen, sie sind also proportional den Intensitäten i und i' dieser Ströme und wenn κ einen konstanten Faktor bezeichnet, hat man

$$p = \kappa \frac{\varrho \varrho' i i' s s'}{r^4} \left(\cos \gamma - \frac{3}{2} \cos \alpha \cos \alpha' \right)$$

In dieser Formel erscheint die Grösse ϱ und ϱ' , welche den halben Abstand des positiven und negativen Urstoffes oder den sollizitirenden Radius in jedem galvanischen Elemente darstellt und dem Radius des Urstoffringes des betreffenden Elementes proportional ist. Diese Grösse hat für alle Ströme in demselben Leitungsstoffe denselben Werth, weil jeder Strom durch Wiederholung desselben Elementes gebildet werden kann: allein, es entsteht die Frage, ob diese Grösse nicht von der Sollizitationsentfernung r abhängig sei. Eine solche Abhängigkeit dürfte in der That obwalten und sich folgendermaassen begründen lassen.

Die ponderabele Materie besteht nach unserer Theorie aus stetig übereinander verschobenen ätherischen Generatrizen, welche für alle Stoffe einunddieselbe Äthermenge enthalten. Auch wenn Generatrizen in ihre Urstoffe geschieden sind und ein Austausch der Urstoffe zwischen mehreren Generatrizen in der Weise stattgefunden hat, dass eine Generatrix nur mit positivem und eine andere nur mit negativem Urstoffe angefüllt ist, befindet sich in einer jeden stets dieselbe Stoffmenge oder Masse. Die Masse einer Generatrix bildet also eine natürliche elementare Masseneinheit und ihr Gravitationsvermögen eine natürliche Krafteinheit. Zwei Generatrizen nehmen in der Welt stets verschiedene Räume ein, und wenn nicht zufällig die eine Generatrix eine hohle Schale bildet, welche die andere Generatrix konzentrisch umspannt, werden die Mittelpunkte zweier Generatrizen auch verschiedene Ört e r einnehmen (wobei es unwesentlich ist, ob der Mittelpunkt der einen innerhalb oder ausserhalb des Umfanges der anderen fällt). Hiernach erscheint jede dynamische Wechselwirkung zwischen zwei Massen m und m' , mag es sich um eine Gravitation, oder um eine elektrische oder galvanische Sollizitation handeln, als die Summe der Wechselwirkungen einer jeden Generatrix der einen Masse m mit einer jeden Generatrix der anderen Masse m' oder, wenn man die Wechselwirkung zwischen zwei Generatrizen als eine Wirkungseinheit betrachtet, als eine Summe elementarer Wirkungseinheiten von verschiedenen, durch die Entfernung bedingten Werthen.

Die Grundlage für das Gesetz der Abhängigkeit der Wirkung von der Entfernung der beiden Generatrizen ist die als physischer Grund-

satz zu betrachtende Annahme, dass die Gesamtwirkung einer Generatrix c vom Radius $ca = \varrho$ (Figur 58) einen bestimmten ihrer Masse μ proportionalen Werth hat, welcher sich über jede rings herum geschlossene Kugelfläche gleichmässig vertheilt. Wenn also φ ein beliebiger konischer Winkel ist, welcher dem Stück ab der Oberfläche der Generatrix und dem Stück $a'b'$ der mit dem Radius $ca' = r$ beschriebenen Kugelfläche entspricht, sodass φ das Verhältniss der Fläche ab zu $4\pi\varrho^2$ oder das Verhältniss der Fläche $a'b'$ zu $4\pi r^2$ bezeichnet; so wird die Fläche $a'b'$ die Wirkung $\varphi \cdot \mu$ empfangen, welche von dem Theile acb der Generatrix c ausgeht. Die Sollizitation der Generatrix c pflanzt sich also in radialen Strahlen durch den Äther fort und wenn die den Winkel φ abschliessende Fläche $a'b'$, welche wie das Quadrat von r wächst, stets gleiche Wirkung empfängt, vermindert sich die Wirkung auf die Flächeneinheit von $a'b'$ umgekehrt wie das Quadrat von r .

Die wirksame Fläche ab oder die ihr entsprechende wirksame Masse $\varphi\mu$ der Generatrix c kann beliebig klein gedacht werden: wie klein sie aber auch genommen werde, immer ergiesst sich ihre Wirkung auf die ganze mit dem Quadrate der Entfernung r wachsende Fläche $a'b'$, $a''b''$ u. s. w. oder dieselbe umspannt eine Fläche, deren Durchmesser $a'b'$, $a''b''$ u. s. w. der Entfernung r proportional ist, also $= \beta r$ gesetzt werden kann. Jede auf der Linie ca' bei c normal stehende Querschnittsfläche eines Körpers ist das Resultat der stetigen Verschiebung einer Generatrix, enthält also unendlich viel Mittelpunkte von Generatrizen. Nehmen wir einmal zu besserer Verdeutlichung an, diese Fläche sei nicht durch stetigen, sondern durch sprungweisen Fortschritt der Generatrix entstanden und die Flächeneinheit enthalte in jeder Richtung n , im Ganzen also n^2 Generatrizen. In demselben Abstände seien die Generatrizen auch in der Richtung der Linie $a'c$ geordnet, um isolirte Flächenschichten zu bilden, sodass die Volumeinheit des Körpers n^3 Generatrizen enthält.

Die in einem Querschnitte liegenden Generatrizen durchschneiden sich so, dass nach Figur 59 die Abschnitte ab immer nur einer Generatrix angehören. Betrachten wir diese Theile oder die konischen Winkel $acb = \varphi$ als die wirksamen Einheiten, welche die Sollizitationsstrahlen $a'cb'$ aussenden. Diese Strahlen umfassen eine mit r^2 wachsende Fläche $a'b'$, also eine Fläche, welche mit zunehmender Entfernung eine immer grösser werdende Menge von Generatrizen enthält. Die Generatrix c wirkt aber nicht nur auf die Fläche $a'b'$ sondern auch auf jede hinter ihr liegende Schicht von Generatrizen. Fassen wir diejenigen Wirkungen zusammen, welche die Generatrix c auf eine ganz bestimmte Menge von Generatrizen innerhalb des konischen Winkels $a'cb'$, oder auf die Masseneinheit des sollizitirten Körpers äussert, die normal zu ca' die Grundfläche $a'b'$ und in der Richtung ca' eine im Quadrate r^2 abnehmende Dicke hat.

Wie die Generatrix c , so wirkt jede Generatrix des bei c liegenden Körpers de auf den Körper $a'b'$ und, umgekehrt, wirkt jede Generatrix von $a'b'$ auf den Körper de . Übrigens gehört im Allgemeinen einem anderen Körper $a'b'$ eine Generatrix von anderem Radius ϱ' und auch

ein anderer Werth der Winkeleinheit φ an. Sind also die Winkel $a'cb' = \varphi$ und $dc'e = \varphi'$ die elementaren Winkeleinheiten, der Durchmesser der Fläche $a'b'$ gleich βr und der Fläche de gleich $\beta' r$, die Fläche $a'b'$ und de selbst proportional r^2 , die Dicke der Schichten, deren Grundflächen $a'b'$ und de sind, proportional $\frac{1}{r^2}$; so betrachten wir die Sollizitation der in den Schichten $a'b'$ und de ausgebreiteten Massen aufeinander als die Wirkungseinheit für die Sollizitation der beiden bei c und c' liegenden Körper und nehmen an, in der Entfernung r wirken immer elementare Massen aufeinander, welche sich über die Flächen vom Durchmesser βr und $\beta' r$ ausbreiten, indem sich ihre Dicke oder Dichtigkeit in dem Maasse vermindert, wie sich ihre Grundfläche vergrössert.

Wenn man die Basis $a'b'$ des von der Generatrix c mit ihrer Wirkungseinheit acb gebildeten Strahlenkegels als Grundfläche des Induktes dieser Generatrix in der Entfernung r ansieht; so erweitert sich das Indukt der einzelnen Generatrix, nicht aber das gemeinschaftliche Indukt mehrerer Generatrizen proportional mit r . Wenn DE eine sollizitirende und AB eine sollizitirte Körperschicht, $a'b' = \beta r$ der Durchmesser der Basis des Strahlenkegels einer einzelnen sollizitirenden Generatrix für die Entfernung r ist; so erhält man die Basis der Gesamtsollizitation der Generatrix c auf die Fläche AB , indem man jede Generatrix der Fläche AB als Mittelpunkt eines Kreises vom Durchmesser βr oder als zweiten Punkt der von c ausgehenden Axe eines Strahlenkegels vom Winkel φ ansieht. Was von der Generatrix c gilt, gilt von jeder anderen Generatrix der Fläche DE . Die übrigen sollizitirenden Generatrizen vergrössern also die gesammte von ihnen bestrahlte Fläche nicht mehr, als ihrem eigenen Abstände in der Fläche DE entspricht: wenn also d der Durchmesser der sollizitirenden Fläche DE ist; so ist der Durchmesser der von allen ihren Generatrizen bestrahlten Fläche des sollizitirten Körpers gleich $d + \beta r$ und die sollizitirenden Generatrizen erzeugen gewissermaassen Zerstreungskreise um die von ihnen sollizitirten Punkte mit wachsenden Radien. Ebenso tritt in der Gegenwirkung der Fläche AB auf die Fläche DE an die Stelle der Fläche DE eine um die Breite $\beta' r$ vergrösserte Fläche ohne Vermehrung der darin liegenden Generatrizen.

Die Dicke der von der Generatrix c mit einem Male sollizitirten Schicht $a'b'$ vermindert sich mit der Entfernung r in dem Maasse wie sich die Fläche $a'b'$ vergrössert. Da Diess von allen Flächenstücken wie $a'b'$ gilt, welche die Zerstreungskreise um alle in der Fläche AB liegenden Generatrizen bilden; so erkennt man leicht, dass der Inbegriff aller dieser Dichtigkeitsschichten den Inhalt einer Schicht ausmacht, deren Dicke von der Entfernung r ganz unabhängig ist, also einen konstanten Werth behält; denn je grösser die Fläche $a'b'$ wird, desto weniger solcher Flächen finden in der gegebenen Fläche AB nebeneinander Platz, desto mehr derselben müssen sich also hintereinander lagern. Das Nämliche ist von der Dicke der sollizitirenden Schicht DE zu sagen.

Der Vorgang bei der Sollizitation gestaltet sich hiernach so. In Figur 60 seien DE und BA beliebige Stücke von zwei sehr dünnen Körperschichten von der Dicke δ , welche unmittelbar voreinander gelagert sind, deren Mittellinien also den Abstand $r = \delta$ haben. Die Punkte in diesen Schichten bezeichnen die Mittelpunkte der elementaren Masseneinheiten, welche wir durch Striche parallel zu DA so abgegrenzt haben, dass sie sich mit ihren Grenzen berühren, wiewohl sie auch mit übergreifenden Grenzen gedacht werden können. Jede Masseneinheit der einen Schicht sollizitirt jede Masseneinheit der anderen. (Die Masseneinheiten beider Schichten mögen verschiedene absolute Werthe haben.) Liegen in Figur 61 die Mittellinien der beiden Schichten DE und AB in der Entfernung $r = n\delta$; so behalten die sich sollizitirenden Masseneinheiten den früheren Werth, ihre Anzahl in jeder Schicht bleibt also die nämliche, ihre Ausdehnung in den Flächen DE und AB wird aber das n^2 -fache der früheren und ihre Dicke reduziert sich auf den n^2 -ten Theil der früheren, d. h. jede Schicht zerlegt sich in n^2 Schichten von der Dicke $\frac{1}{n^2}\delta$. Stellt man sich vor, alle diese Masseneinheiten von vergrößerter Grundfläche durchdringen sich, indem sie die Dicke δ der ganzen Schicht annehmen, aber ihre Dichtigkeit in gleichem Maasse vermindern: so erhält man zwei Schichten DE und AB mit ineinander greifenden vergrößerten und verdünnten Masseneinheiten, deren Mittelpunkte in den früheren Abständen liegen. Hieraus erhellet, dass und wie sich die Materie in der Entfernung r durch Masseneinheiten von konstanter elementarer Masse, jedoch mit proportional zu r wachsenden Durchmessern βr und $\beta' r$ sollizitirt, und die in Nr. 12 gegebene Erläuterung des Induktionsstrahles lehrt zugleich, wie diese im Äther vor sich gehende Strahlenbildung die Sollizitation ermöglicht, indem sie jeden Körper parallel mit sich selbst gewissermaassen an alle Orte des Raumes verpflanzt, um dort seine Thätigkeit mit Zerstreung seiner Krafterelemente zu äussern.

Man kann den vorstehenden Satz auch so veranschaulichen: Wenn sich in Fig. 59 für irgend eine bestimmte Entfernung der beiden Körper DE und AB die beiden in den Punkten c und c' liegenden Generatrizen so sollizitiren, wie die in die beiden Punkte d und e gestellten entgegengesetzten Urstoffmengen die in die beiden Punkte a' und b' gestellten entgegengesetzten Urstoffmengen sollizitiren; so werden diese beiden Generatrizen in denselben Körpern bei jeder anderen Entfernung sich so sollizitiren, wie die nämlichen Urstoffmengen es thun, deren vier Örter mit sich und mit den Örtern der beiden Generatrizen eine der $ecda'c'b'$ geometrisch ähnliche Figur bilden.

Zwei Dinge bedürfen übrigens noch einer Erläuterung, zunächst der Koeffizient β oder die absolute Grösse des Durchmessers der elementaren Masseneinheiten bei unmittelbarer Voreinanderlagerung der sich sollizitirenden Schichten oder der Abstand der Mittelpunkte dieser Masseneinheiten. Wäre die Materie in ihrer Eigenschaft als sollizitirende

Masse wie das Resultat eines absolut stetigen Fortschrittes einer Generatrix zu betrachten; so würde der fragliche Abstand der Mittelpunkte der Masseneinheiten absolut null werden und eine Vergrößerung dieser Einheiten mit der Entfernung r nicht stattfinden. Sobald aber die Materie durch einen sprungweisen Fortschritt der Generatrix gebildet gedacht wird, muss der Koeffizient β für jeden Stoff einen bestimmten Werth annehmen, welcher zwar ungemein klein, aber nicht null ist. Wie klein nun auch der Koeffizient β sei, wie unbedeutend also auch die Vergrößerung des Durchmessers ϱ der Masseneinheit oder der sollizitirende Durchmesser im Vergleich zu der Sollizitationsentfernung r sei, immer wird der absolute Werth dieses Durchmessers mit wachsender Entfernung r jeden Betrag überschreiten: bei genügender Entfernung, z. B. bei der Sollizitation eines Sandkornes der Erde und eines ebenso kleinen Partikelchens der Sonne kann es kommen, dass der sollizitirende Durchmesser den Durchmesser der aufeinander wirkenden Massentheilchen weit übertrifft. Wenn aber die Masseneinheit, auf welche das Theilchen A in der Entfernung r wirkt, sehr viel grösser ist, als das ganze Theilchen B , welches sollizitirt wird; so könnte es scheinen, als ob A gar nicht im Stande sei, seine volle Wirkung auf B auszuüben, dass vielmehr nur ein kleiner Theil dieser Wirkung zur Erscheinung kommen könne, mithin das Sollizitationsgesetz eine erhebliche Modifikation erleiden werde. Diess ist der zweite Punkt, welcher einer Aufklärung bedarf.

Wenn nach Figur 62 in dem auf die Entfernung r sollizitirten Körper c der Mittelpunkt der letzten Masseneinheit ist, welche mit ihrer kreisförmigen Basis den Körper noch ganz trifft, sodass also die mit dem Radius $\varrho = \beta r$ um c beschriebene Kreislinie den Umriss des Körpers bei B berührt; so werden diejenigen Masseneinheiten, deren Mittelpunkte zwischen c und B liegen, nicht ganz in den Körper fallen, d. h. diejenigen Sollizitationskegel, deren Spitze in einem sollizitirenden Punkte liegt und deren Axe nach einem zwischen c und B liegenden Punkte c_1 führt, werden den Körper nur mit einem Theile ihrer Sollizitationskraft affiziren. Liegt der sollizitirte Mittelpunkt c_2 gerade auf der Grenze des Körpers; so wirkt der betreffende Kegel nur mit seiner halben Kraft. Alle erwähnten Grenzstrahlen, deren Mittelpunkte zwischen c und B in dem Grenzstreifen von der Breite $Bc = \varrho$ liegen, äussern also nur eine partielle Wirkung auf den Körper. Dafür kommen aber alle diejenigen Strahlenkegel mit zur Wirkung, deren Mittelpunkte ausserhalb der Grenze des Körpers zwischen dieser Grenze B_4 und c_4 in dem Aussenstreifen von der Breite $B_4c_4 = \varrho$ liegen. Was den inneren Grenzstrahlen an Wirksamkeit fehlt, ersetzen die äusseren Grenzstrahlen.

Eine ähnliche Betrachtung findet auf den sollizitirenden Körper Anwendung. Die Masseneinheiten vom Radius ϱ , deren Mittelpunkte in einem inneren und äusseren Grenzstreifen von der Breite ϱ liegen, wirken auf jede Einheit des sollizitirten Körpers nur als Theile von Einheiten, und die Summe dieser Wirkungen entspricht genau dem Inhalte der Fläche des sollizitirenden Körpers.

Wenn die Entfernung r gross genug und die Breite des sollizitirenden

und des sollizitirten Körpers klein genug ist, kann es sich ereignen, dass keine einzige Masseneinheit mit voller Kraft an der Sollizitation Theil nimmt. In allen Fällen entspricht die Gesamtsollizitation zweier wenig ausgedehnten Massen m und m' mit mathematischer Schärfe dem Produkte mm' der beiden Massen und dem umgekehrten Quadrate ihrer Entfernung r und die Sollizitation ist eine unmittelbare Wechselwirkung zwischen elementaren Masseneinheiten von den Breiten $\varrho = \beta r$ und $\varrho' = \beta' r$.

Die Substitution dieser Werthe für ϱ und ϱ' verwandelt die Formel der galvanischen Sollizitation, wenn wir der Einfachheit wegen α an die Stelle von $\alpha\beta\beta'$ setzen, in

$$p = \alpha \frac{ii'ss'}{r^2} \left(\cos \gamma - \frac{3}{2} \cos \alpha \cos \alpha' \right)$$

Diese Formel stimmt mit der von Ampère nach Beobachtungen empirisch aufgestellten und mit der von Weber mittelst einer theoretischen Hypothese unter Rekursion auf Beobachtungen abgeleiteten Formel genau überein; sie stützt sich aber weder auf spezielle Erfahrungssätze, noch auf räthselhafte oder künstliche Hypothesen, sie verlangt nicht die Anerkennung einer Abhängigkeit der bewegenden Kraft eines Körpers von der relativen Geschwindigkeit und Beschleunigung, welche er eben gegen einen anderen Körper zeigt; ausserdem lös't sie das Problem vollständig, während die Theorie von Weber keine Antwort auf die wichtige Frage ertheilt, warum zwei sich sollizitirende galvanische Elemente, da sich doch in jedem die positive und die negative Elektrizität in entgegengesetzter Bewegung befinden soll, also in jeder kleinen Zeit verschiedene Örter einnehmen muss, nur eine in der Mittelrichtung r liegende Anziehung oder Abstossung, nicht aber auch seitlichen Schub und Drehungstendenz aufeinander ausüben.

Unsere Theorie beantwortet diese Frage ganz bestimmt. Die Urstoffe a, b und a', b' welche die Komponenten X der Sollizitation bedingen, liegen nach Figur 56 sämmtlich in der geraden Linie r ; sie können also weder eine seitliche Schubkraft auf die Elemente O und O' , noch eine Tendenz zur Drehung dieser Elemente um ihre Schwerpunkte erzeugen. Ganz das Nämliche gilt von der Komponente Y . Für die Komponente Z liegen die Urstoffe a, b den Urstoffen a', b' nach Fig. 57 symmetrisch gegenüber, sodass zwei von ihnen ebensoweit rechts von der Linie, wie die beiden anderen links von dieser Linie liegen. Diese Lage vernichtet sowohl für das Element O , als auch für das Element O' jede Seitenkraft und jede Drehkraft. Die Sollizitation zweier galvanischen Elemente setzt sich hiernach aus drei Komponenten X, Y, Z zusammen, welche sämmtlich in der Richtung r liegen; sie ist daher lediglich eine längs r wirkende Anziehung oder Abstossung.

Während alle Seitenkräfte sowohl für das Element O , als auch für das Element O' gleich null sind; so sind doch nicht die auf jeden einzelnen Urstoff wirkenden Komponenten gleich null. In der Richtung r erzeugen die Kräfte X und Y in jedem Elemente eine Spannung zwischen den beiden entgegengesetzten Urstoffen oder vielmehr zwischen den beiden einander gegenüberliegenden Hälften der Urstoffringe. Diese Spannung ist in Figur 56 eine Expansionsspannung, wird aber bei der Umkehrung der einen Stromaxe eine Kontraktionsspannung. Die Kraft Z erzeugt in jedem Elemente normal zur Linie r eine expandirende oder kontrahirende Spannung zwischen den Urstoffen. Alle diese Spannungen zwischen den Urstoffen jedes Elementes komponiren sich zu einer Resultante, welche immer nur eine durch den Schwerpunkt des Elementes gehende innere Spannung ist.

Wenn man in der Ampèreschen Formel $\partial s, \partial x, \partial y, \partial z$ resp. an die Stelle von s, x, y, z , ferner $\partial s', \partial x', \partial y', \partial z'$ an die Stelle von s', x', y', z' setzt und beachtet, dass nun

$$r^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2$$

ist; so ergiebt sich leicht die bekannte Transformation jener Formel in

$$\begin{aligned} p &= - \frac{x i i' \partial s \partial s'}{r^2} \left(r \frac{\partial^2 r}{\partial s \partial s'} - \frac{1}{2} \frac{\partial r}{\partial s} \frac{\partial r'}{\partial s'} \right) \\ &= - \frac{x i i' \partial s \partial s'}{\sqrt{r}} \frac{\partial}{\partial s'} \left(\frac{1}{\sqrt{r}} \frac{\partial r}{\partial s} \right) \\ &= - \frac{x i i' \partial s \partial s'}{\sqrt{r}} \frac{\partial}{\partial s'} \left(\frac{\cos \alpha}{\sqrt{r}} \right) \end{aligned}$$

oder auch

$$p = - \frac{x i i' \partial s \partial s'}{\sqrt{r}} \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\cos \alpha'}{\sqrt{r}} \right)$$

Die Abweichung der Formeln für die galvanische Sollizitation, welche ich in §. 377 ff. der „Naturgesetze“ aufgestellt habe, von der vorstehenden Formel hat zwei Gründe. Zunächst habe ich jetzt erst erkannt, dass die galvanischen Kräfte in drei rechtwinklige Komponenten zu zerlegen und die Wechselwirkungen auf die parallelen Komponenten oder auf die in derselben Ebene vor sich gehenden Wirkungen zu beschränken seien. Hierdurch verschwinden alle Drehkräfte. Sodann verdanke ich es einer späteren Erkenntniss, dass die Länge der sollizitirenden Durchmesser der Entfernung r proportional zu variiren sei. Hierdurch verwandelt sich die im Nenner stehende vierte Potenz von r in die zweite.

18. Sollizitation zwischen einem Kreisstrome und einem Stromelemente.

Das bei O liegende Stromelement von unendlich geringer Länge s' mit der Intensität i' (Figur 63) stehe mit dem Kreisstrome ASB , der um den Mittelpunkt R mit dem Radius $RA = \rho$ beschrieben ist und die Intensität i hat, in wechselseitiger Sollizitation. Da jedes Element s

des Kreisstromes, z. B. das bei S liegende, das Element s' in der geraden Verbindungslinie OS mit der Kraft p sollicitirt, da also alle Komponenten der Sollizitation des Kreisstromes durch den Punkt O gehen; so muss auch die Resultante P dieser Sollizitation eine durch O gehende Kraft sein. Der umgekehrte Werth dieser Kraft stellt die Sollizitation dar, welche das Element s' auf den Kreisstrom ausübt. Da die Komponenten dieser Kraft den Kreisstrom in den verschiedenen Punkten seines Umfanges angreifen; so zerlegt sich die Sollizitation auf den Kreisstrom in eine durch seinen Mittelpunkt gehende Fortschrittskraft vom Werthe P und in ein Kräftepaar vom Momente Q , welches den Kreis um einen bestimmten Durchmesser zu drehen strebt.

Zur Berechnung dieser Kräfte nehmen wir die Linie OR zur Axe der x und setzen die Entfernung $OR = r$, ferner nehmen wir die durch OR und das Element s' gelegte Ebene zur Ebene XY und die Normale OZ darauf zur Axe der z . ARB sei der Durchschnitt der Ebene XY mit der Ebene des Kreises, $RA = b = \rho$ der in diesem Durchschnitte liegende Radius des Kreises, RS ein beliebiger Radius ρ desselben, Winkel $ARS = \varphi$; bei S liege das Element $s = \rho \partial \varphi$ des Kreises, bei A das Anfangselement $a = \rho \partial \varphi$; die Linie OS sei $= r$; eine auf der Kreisebene errichtete Normale RC sei die Axe des Kreises und habe die Länge c . Die Projektionen einer Linie auf die Koordinatenachsen OX , OY , OZ bezeichnen wir durch die Zeiger 1, 2, 3, es seien also a_1, a_2, a_3 die von a , ferner b_1, b_2, b_3 die von b , ferner c_1, c_2, c_3 die von c , ferner r_1, r_2, r_3 die von r , ferner ρ_1, ρ_2, ρ_3 die von ρ , ferner s_1, s_2, s_3 die von s , endlich s'_1, s'_2, s'_3 die von s' .

Da c auf ρ , s , b und a , ferner ρ auf s , endlich b auf a normal steht; so hat man die Relationen

$$c_1 \rho_1 + c_2 \rho_2 + c_3 \rho_3 = 0$$

$$c_1 s_1 + c_2 s_2 + c_3 s_3 = 0$$

$$\rho_1 s_1 + \rho_2 s_2 + \rho_3 s_3 = 0$$

$$c_1 b_1 + c_2 b_2 + c_3 b_3 = 0$$

$$c_1 a_1 + c_2 a_2 + c_3 a_3 = 0$$

$$b_1 a_1 + b_2 a_2 + b_3 a_3 = 0$$

ferner ist

$$b_1 \rho_1 + b_2 \rho_2 + b_3 \rho_3 = \rho^2 \cos \varphi$$

und demzufolge

$$\rho_1 = b_1 \cos \varphi + \frac{1}{c} (c_3 b_2 - c_2 b_3) \sin \varphi$$

$$\rho_2 = b_2 \cos \varphi + \frac{1}{c} (c_1 b_3 - c_3 b_1) \sin \varphi$$

$$\rho_3 = b_3 \cos \varphi + \frac{1}{c} (c_2 b_1 - c_1 b_2) \sin \varphi$$

$$s_1 = \left[b_1 \sin \varphi - \frac{1}{c} (c_3 b_2 - c_2 b_3) \cos \varphi \right] \partial \varphi$$

$$s_2 = \left[b_2 \sin \varphi - \frac{1}{c} (c_1 b_3 - c_3 b_1) \cos \varphi \right] \partial \varphi$$

$$s_3 = \left[b_3 \sin \varphi - \frac{1}{c} (c_2 b_1 - c_1 b_2) \cos \varphi \right] \partial \varphi$$

Nach der in voriger Nummer entwickelten Ampèreschen Formel ist die in der Linie OS wirkende Sollizitation der beiden Stromelemente s und s'

$$p = \frac{\kappa i i' s s'}{r^2} \left\{ \cos(s, s') - \frac{3}{2} \cos(s, r) \cdot (\cos s', r) \right\}$$

Hierin ist

$$\cos(s, s') = \frac{1}{s s'} (s_1 s_1' + s_2 s_2' + s_3 s_3')$$

$$\cos(s, r) = \frac{1}{s r} (s_1 r_1 + s_2 r_2 + s_3 r_3)$$

$$\cos(s', r) = \frac{1}{s' r} (s_1' r_1 + s_2' r_2 + s_3' r_3)$$

$$r_1 = r_1 + \varrho_1 \quad r_2 = r_2 + \varrho_2 \quad r_3 = r_3 + \varrho_3$$

$$r^2 = (r_1 + \varrho_1)^2 + (r_2 + \varrho_2)^2 + (r_3 + \varrho_3)^2$$

und in Folge der ersten Relationen

$$\cos(s, r) = \frac{1}{s r} (s_1 r_1 + s_2 r_2 + s_3 r_3)$$

$$\cos(s', r) = \frac{1}{s' r} (s_1' r_1 + s_2' r_2 + s_3' r_3 + s_1' \varrho_1 + s_2' \varrho_2 + s_3' \varrho_3)$$

Die drei Komponenten der Kraft p parallel zu den Axen OX , OY , OZ sind

$$p_1 = \frac{r_1}{r} p \quad p_2 = \frac{r_2}{r} p \quad p_3 = \frac{r_3}{r} p$$

Für das angenommene Koordinatensystem kürzen sich alle diese Formeln durch die Substitution

$s_3' = 0$, $r_1 = r$, $r_2 = 0$, $r_3 = 0$, $b = \varrho$, $b_3 = 0$ erheblich ab; man erhält

$$\cos(s, s') = \frac{1}{s s'} (s_1 s_1' + s_2 s_2')$$

$$\cos(s, r) = \frac{s_1 r}{s r}$$

$$\cos(s', r) = \frac{s_1' r + s_1 \varrho_1 + s_2' \varrho_2}{s' r}$$

$$r^2 = r^2 + 2 r \varrho_1 + \varrho^2$$

$$p = \kappa i i' \left\{ \frac{s_1 s_1' + s_2 s_2'}{r^2} - \frac{3}{2} \frac{s_1 r (s_1' r + s_1' \varrho_1 + s_2' \varrho_2)}{r^4} \right\}$$

$$p_1 = \kappa i i' \left\{ \frac{(r + \varrho_1) (s_1 s_1' + s_2 s_2')}{r^3} - \frac{3}{2} \frac{s_1 r (r + \varrho_1) (s_1' r + s_1' \varrho_1 + s_2' \varrho_2)}{r^5} \right\}$$

$$p_2 = x i i' \left\{ \frac{\varrho_2 (s_1 s_1' + s_2 s_2')}{r^3} - \frac{3}{2} \frac{s_1 r \varrho_2 (s_1' r + s_1' \varrho_1 + s_2' \varrho_2)}{r^5} \right\}$$

$$p_3 = x i i' \left\{ \frac{\varrho_3 (s_1 s_1' + s_2 s_2')}{r^3} - \frac{3}{2} \frac{s_1 r \varrho_3 (s_1' r + s_1' \varrho_1 + s_2' \varrho_2)}{r^5} \right\}$$

Nehmen wir jetzt an, der Kreisstrom habe einen sehr kleinen Radius ϱ ; so wird mit hinreichender Genauigkeit

$$r^2 = r^2 + 2 r \varrho_1 = r^2 \left(1 + \frac{2 \varrho_1}{r} \right)$$

$$r = r + \varrho_1$$

$$\frac{1}{r^3} = \frac{1}{r^3} - \frac{3 \varrho_1}{r^4}$$

$$\frac{1}{r^5} = \frac{1}{r^5} - \frac{5 \varrho_1}{r^6}$$

und demnach

$$p_1 = x i i' \left\{ \frac{2 s_2 s_2' - s_1 s_1'}{2 r^2} + \frac{\varrho_1 (5 s_1 s_1' - 4 s_2 s_2')}{2 r^3} - \frac{3 \varrho_2 s_1 s_2'}{2 r^3} \right\}$$

$$p_2 = x i i' \cdot \frac{\varrho_2 (2 s_2 s_2' - s_1 s_1')}{2 r^3}$$

$$p_3 = x i i' \cdot \frac{\varrho_3 (2 s_2 s_2' - s_1 s_1')}{2 r^3}$$

Die drei den Koordinatenachsen parallelen Komponenten P_1, P_2, P_3 der Resultante P aller dieser elementaren Kräfte sind

$$P_1 = \int_0^{2\pi} p_1 \quad P_2 = \int_0^{2\pi} p_2 \quad P_3 = \int_0^{2\pi} p_3$$

indem p_1, p_2, p_3 Produkte des Bogendifferentials $\partial \varphi$ in Funktionen von φ sind. Die letzteren Funktionen ergeben sich durch Substitution der Werthe von $\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, s_1, s_2, s_3$ aus den ersten Relationen in die letzten Ausdrücke von p_1, p_2, p_3 . Man erhält, indem man mit C das Produkt einer konstanten Grösse in $\sin \varphi \cos \varphi \partial \varphi$ bezeichnet,

$$\varrho_1 s_1 = \frac{b_1 (c_3 b_2 - c_2 b_3)}{c} (\sin^2 \varphi - \cos^2 \varphi) \partial \varphi + C$$

$$\varrho_1 s_2 = \frac{b_2 (c_3 b_2 - c_2 b_3)}{c} \sin^2 \varphi \partial \varphi - \frac{b_1 (c_1 b_3 - c_3 b_1)}{c} \cos^2 \varphi \partial \varphi + C$$

$$\varrho_1 s_3 = \frac{b_3 (c_3 b_2 - c_2 b_3)}{c} \sin^2 \varphi \partial \varphi - \frac{b_1 (c_2 b_1 - c_1 b_2)}{c} \cos^2 \varphi \partial \varphi + C$$

$$\varrho_2 s_1 = \frac{b_1 (c_1 b_3 - c_3 b_1)}{c} \sin^2 \varphi \partial \varphi - \frac{b_2 (c_3 b_2 - c_2 b_3)}{c} \cos^2 \varphi \partial \varphi + C$$

$$\varrho_2 s_2 = \frac{b_2 (c_1 b_3 - c_3 b_1)}{c} (\sin^2 \varphi - \cos^2 \varphi) \partial \varphi + C$$

$$\varrho_2 s_3 = \frac{b_3 (c_1 b_3 - c_3 b_1)}{c} \sin^2 \varphi \partial \varphi - \frac{b_2 (c_2 b_1 - c_1 b_2)}{c} \cos^2 \varphi \partial \varphi + C$$

$$\varrho_3 s_1 = \frac{b_1 (c_2 b_1 - c_1 b_2)}{c} \sin^2 \varphi \partial \varphi - \frac{b_3 (c_3 b_2 - c_2 b_3)}{c} \cos^2 \varphi \partial \varphi + C$$

$$\varrho_3 s_2 = \frac{b_2 (c_2 b_1 - c_1 b_2)}{c} \sin^2 \varphi \partial \varphi - \frac{b_3 (c_1 b_3 - c_3 b_1)}{c} \cos^2 \varphi \partial \varphi + C$$

$$\varrho_3 s_3 = \frac{b_3 (c_2 b_1 - c_1 b_2)}{c} (\sin^2 \varphi - \cos^2 \varphi) \partial \varphi + C$$

Da $\int_0^{2\pi} \sin^2 \varphi \partial \varphi = \int_0^{2\pi} \cos^2 \varphi \partial \varphi = \pi$

$$\int_0^{2\pi} \sin \varphi \cos \varphi \partial \varphi = \int_0^{2\pi} C = 0$$

ferner

$$\int_0^{2\pi} s_1 = \int_0^{2\pi} s_2 = \int_0^{2\pi} s_3 = 0$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_1 s_1 = \int_0^{2\pi} \varrho_2 s_2 = \int_0^{2\pi} \varrho_3 s_3 = 0$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_1 s_2 = \pi b^2 \frac{c_3}{c}$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_1 s_3 = - \pi b^2 \frac{c_2}{c}$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_2 s_1 = - \pi b^2 \frac{c_3}{c}$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_2 s_3 = \pi b^2 \frac{c_1}{c}$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_3 s_1 = \pi b^2 \frac{c_2}{c}$$

$$\int_0^{2\pi} \varrho_3 s_2 = - \pi b^2 \frac{c_1}{c}$$

ist; so erhält man für die Komponenten der Sollizitationsresultante

$$P_1 = - \frac{\kappa i i' \pi b^2 c_3 s_2'}{2 c r^3}$$

$$P_2 = \frac{\kappa i i' \pi b^2 c_3 s_1'}{2 c r^3}$$

$$P_3 = - \frac{\kappa i i' \pi b^2 (c_2 s_1' + 2 c_1 s_2')}{2 c r^3}$$

Bezeichnet man den Neigungswinkel der Axe c des Kreisstromes gegen die Koordinatenachsen mit $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, den des Elementes s' bei O gegen dieselbe Linie mit β' und den Flächenraum $\pi b^2 = \pi \rho^2$ des Kreisstromes mit λ ; so werden die vorstehenden Ausdrücke

$$P_1 = - \frac{\kappa i i' \lambda s'}{2 r^3} \cos \alpha_3 \sin \beta'$$

$$P_2 = \frac{\kappa i i' \lambda s'}{2 r^3} \cos \alpha_3 \cos \beta'$$

$$P_3 = - \frac{\kappa i i' \lambda s'}{2 r^3} (\cos \alpha_2 \cos \beta' + 2 \cos \alpha_1 \sin \beta')$$

Die in der Ebene XY liegende Resultante P' der ersten beiden Komponenten P_1 und P_2 hat den Werth

$$P' = \frac{\kappa i i' \lambda s'}{2 r^3} \cos \alpha_3$$

Die Sollizitation eines kleinen Kreisstromes R auf ein bei O liegendes Stromelement s' erscheint hiernach als eine durch den Punkt O gehende Kraft P mit den beiden Komponenten P_3 und P' . Die erste Komponente P_3 steht normal auf der durch das Element s' und den Mittelpunkt R des Kreisstromes gelegten Ebene XY ; die zweite Komponente P' fällt in die Ebene XY und steht normal auf dem Elemente s' . Hieraus, sowie aus dem Werthe null, welchen man für den Kosinus des Neigungswinkels ψ der Richtung der Resultante P gegen das Element s' nach der Formel

$$\cos \psi = \frac{1}{s' P} (s'_1 P_1 + s'_2 P_2 + s'_3 P_3) = 0$$

erhält, geht hervor, dass die Resultante P auf dem Elemente s' normal steht. Die Grösse einer jeden dieser Kräfte steht im umgekehrten Verhältnisse mit der dritten Potenz der Entfernung r des Elementes s' vom Mittelpunkte des Kreisstromes.

Die normale Richtung der Kraft P gegen das Element s' ist nicht eine Eigenthümlichkeit, welche der Kleinheit oder der Kreisform des sollizitirenden Stromes, sondern welche seiner Geschlossenheit zukömmt. Denn die zum Elemente s' parallele Komponente von P ist für jede beliebige Grösse und Figur des geschlossenen Stromes, wenn man den letzten Werth von p aus der vorhergehenden Nummer mit $\cos \beta'$ multipliziert und sodann für den ganzen Umfang des geschlossenen Stromes, also von $s = 0$ bis $s = s$ integrirt, wobei der Neigungswinkel β' des Elementes $\partial s'$ gegen r von dem Anfangswerthe β'_0 wieder zu diesem Werthe zurückkehrt,

$$\begin{aligned} & - \kappa i i' \partial s' \int_0^s \frac{\cos \beta'}{V r} \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\cos \beta'}{V r} \right) \cdot \partial s \\ & = - \kappa i i' \partial s' \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \beta'_0}{r_0} - \frac{\cos^2 \beta'_0}{r_0} \right) = 0 \end{aligned}$$

Die Sollizitation, welche der Kreisstrom auf das Element s' ausübt, ist durch die Resultante P , welche durch den Mittelpunkt O dieses Elementes geht, vollständig dargestellt; ebenso ist die Sollizitation, welche das Element s' auf den Kreisstrom ausübt, (nach ihrer absoluten Richtung oder in Bezug auf einunddenselben Anfangspunkt des Koordinatensystems) durch die entgegengesetzte, durch O gehende Kraft $-P$ gegeben. Die letztere Kraft, deren Komponenten den Kreis in den verschiedenen Punkten seines Umfanges angreifen, zerfällt in eine Fortschrittskraft $-P$, welche durch den Mittelpunkt R des Kreises wirkt, und in ein Kräftepaar Q , welches den Kreis um einen bestimmten Durchmesser zu drehen strebt. Setzt man dieses Kräftepaar aus den Momenten der elementaren Kräfte $-p_1, -p_2, -p_3$ um die drei Koordinatenachsen zusammen; so ergiebt sich als elementares Moment q_1 der Drehung um die Axe OX , wobei die Drehungsrichtung von Y gegen Z als die positive gilt,

$$q_1 = q_2 p_3 - q_3 p_2$$

ferner, als Moment q_2 der Drehung um die Axe OY , wobei die Drehungsrichtung von Z gegen X als die positive gilt,

$$q_2 = q_3 p_1 - q_1 p_3$$

endlich, als Moment q_3 der Drehung um die Axe OZ , wobei die Drehungsrichtung von X gegen Y als die positive gilt,

$$q_3 = q_1 p_2 - q_2 p_1$$

Da wir in den Werthen dieser Momente nur Glieder beibehalten, welche in die erste Potenz von q_1, q_2, q_3 multipliziert sind, kömmt von der Kraft p_1 nur der Theil

$$p_1 = x i i' \frac{2 s_2 s_2' - s_1 s_1'}{2 r^2}$$

in Betracht, während p_2 und p_3 ganz verschwinden. Hierdurch wird

$$q_1 = 0$$

$$q_2 = x i i' \frac{q_3 (2 s_2 s_2' - s_1 s_1')}{2 r^2}$$

$$q_3 = - x i i' \frac{q_2 (2 s_2 s_2' - s_1 s_1')}{2 r^2}$$

Integrirt man diese Ausdrücke von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 2\pi$; so ergiebt sich nach dem Obigen

$$Q_1 = 0$$

$$Q_2 = - \frac{x i i' \pi b^2 (c_2 s_1' + 2 c_1 s_2')}{2 c r^2}$$

$$Q_3 = - \frac{x i i' \pi b^2 c_3 s_1'}{2 c r^2}$$

Diese drei Momente sind auch

$$Q_1 = 0 \quad Q_2 = r P_3 \quad Q_3 = - r P_2$$

sie entsprechen also genau den Drehungsmomenten der drei Komponenten $-P_1, -P_2, -P_3$ um die drei Koordinatenachsen. Dieses Resultat ist zwar ein selbstverständliches und hätte keines Nachweises bedurft;

der Letztere erschien mir aber nützlich, um zu zeigen, dass dasselbe durch die wegen der Kleinheit des Kreisstromes gemachten Abkürzungen nicht beeinträchtigt wird. Es geht daraus hervor, dass das sollicitirende Element den sollicitirten kleinen Kreisstrom nicht um die Verbindungslinie OR , sondern um eine normal darauf stehende Linie zu drehen strebt.

Die Druckkräfte P, P_1, P_2, P_3 und die Drehkräfte Q, Q_1, Q_2, Q_3 haben eine doppelte Bedeutung: eine relative, als gegenseitige, zwischen beiden Elementen s und s' wirkende Druck- und Drehspannungen, und eine absolute, als einseitige, auf eines dieser Elemente wirkende Fortschritts- und Richtkräfte. In der ersten Bedeutung ist eine Druckspannung positiv, wenn sie anziehend wirkt, also die Entfernung ss' oder deren Projektionen zu verkürzen strebt. In der zweiten Bedeutung ist eine Fortschrittskraft positiv, wenn sie in der positiven Richtung der Koordinatenachsen OX, OY, OZ wirkt, wobei das Element, welches die Wirkung empfängt, als Nullpunkt des Koordinatensystems und die auf das wirkende Element gerichtete Linie als ein positiver Vektor gedacht wird. Verlegt man den Nullpunkt in das andere Element und kehrt zugleich die Koordinatenrichtungen um; so wechseln die auf das erstere Element wirkenden Kräfte das Zeichen. Die auf das andere Element wirkenden Kräfte haben, bei gleichen Koordinatenrichtungen, entgegengesetzte Zeichen.

Etwas Ähnliches gilt von den Drehkräften. Als relative Drehspannung ist eine solche Kraft positiv, wenn sie die in einem Quadranten liegenden Hälften der beiden Elemente einander nähert oder dieselben zusammendrehet, also ihren Winkel verkleinert. Als absolute Richtkraft ist dieselbe positiv, wenn sie Drehungen in den Richtungen XY, YZ, ZX herum erzeugt, wobei das angegriffene Element im Nullpunkte liegt. Eine Verlegung des Nullpunktes in das andere Element mit Umkehrung der Koordinatenrichtungen bedingt eine Umkehrung der Zeichen, und die auf das andere Element wirkenden Kräfte haben für dasselbe Koordinatensystem entgegengesetzte Zeichen.

19. Sollizitation zweier Kreisströme.

In den beiden kleinen Kreisströmen von den Radien $RS = \varrho$ und $O'S' = \varrho'$ (Figur 64) zirkuliren die Ströme von der Intensität i und i' . Nimmt man die Verbindungslinie $O'R = l$ zur Koordinatenaxe der x und eine beliebige durch l gehende Ebene, welche den ersten Kreis in dem Halbmesser $RA = b$ und den zweiten in dem Halbmesser $O'A' = b'$ schneide, zur Koordinatenebene XY an, bezeichnet das Element des zweiten Kreises bei A' und a' , das bei S' mit s' , den Winkel $A'O'S'$ mit φ' , setzt $S'R = r$ und $S'S = r$, ferner eine auf der Ebene des zweiten Kreisstromes errichtete Normale OC' mit c' und kennzeichnet die Projektionen jeder dieser Linien auf die drei Koordinatenachsen OX, OY, OZ mit den Zeigern 1, 2, 3; so erhält man die zwischen den Grössen c', φ', s', b', a' bestehenden Relationen, indem man die Grössen der in der vorhergehenden Nummer vorangestellten Relationen sämmtlich akzentuirt.

Die Sollizitation p , welche das Element s des ersten Stromes auf das Element s' des zweiten Stromes in der Richtung SS' ausübt, ist hier wie früher

$$p = \frac{\kappa i i' s s'}{r^2} \left\{ \cos(s, s') - \frac{3}{2} \cos(s, r) \cdot \cos(s', r) \right\}$$

und die Komponenten derselben

$$p_1 = \frac{r_1}{r} p \quad p_2 = \frac{r_2}{r} p \quad p_3 = \frac{r_3}{r} p$$

Da

$$\begin{aligned} r_1 &= l_1 + \varrho_1 - \varrho_1' & r_2 &= l_2 + \varrho_2 - \varrho_2' \\ r_3 &= l_3 + \varrho_3 - \varrho_3' \end{aligned}$$

ist; so wird

$$\cos(s, s') = \frac{1}{ss'} (s_1 s_1' + s_2 s_2' + s_3 s_3')$$

$$\cos(s, r) = \frac{1}{sr} (s_1 l_1 + s_2 l_2 + s_3 l_3 - s_1 \varrho_1' - s_2 \varrho_2' - s_3 \varrho_3')$$

$$\cos(s', r) = \frac{1}{s'r} (s_1' l_1 + s_2' l_2 + s_3' l_3 + s_1' \varrho_1 + s_2' \varrho_2 + s_3' \varrho_3)$$

Erwägt man, dass $b_3 = 0$, $b_3' = 0$, $l_1 = l$, $l_2 = 0$, $l_3 = 0$ und wegen der Kleinheit der Kreisströme

$$\begin{aligned} r^2 &= (l_1 + \varrho_1 - \varrho_1')^2 + (l_2 + \varrho_2 - \varrho_2')^2 + (l_3 + \varrho_3 - \varrho_3')^2 \\ &= l^2 + 2l(\varrho_1 - \varrho_1') \end{aligned}$$

$$r = l + (\varrho_1 - \varrho_1')$$

$$\frac{1}{r^3} = \frac{1}{l^3} - \frac{3(\varrho_1 - \varrho_1')}{l^4}$$

$$\frac{1}{r^5} = \frac{1}{l^5} - \frac{5(\varrho_1 - \varrho_1')}{l^6}$$

ist; so ergibt sich

$$p_1 = \kappa i i' \left\{ \frac{2(s_2 s_2' - s_3 s_3') - s_1 s_1'}{2 l^2} + \frac{(\varrho_1 - \varrho_1') [5 s_1 s_1' - 4(s_2 s_2' + s_3 s_3')]}{2 l^3} - \frac{3[s_1(\varrho_2 s_2' + \varrho_3 s_3') - s_1'(\varrho_2' s_2 + \varrho_3' s_3)]}{2 l^3} \right\}$$

$$p_2 = \frac{\kappa i i' (\varrho_2 - \varrho_2') [2(s_2 s_2' + s_3 s_3') - s_1 s_1']}{2 l^3}$$

$$p_3 = \frac{\kappa i i' (\varrho_3 - \varrho_3') [2(s_2 s_2' + s_3 s_3') - s_1 s_1']}{2 l^3}$$

Nimmt man das Integral aller dieser elementaren Kräfte für den ersten Kreisstrom von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 2\pi$; so ergeben sich die Komponenten der Sollizitation dieses Stromes auf das Element s' des zweiten Stromes in der Form

$$P_1 = \frac{\kappa i i' \lambda (-c_3 s_2' + c_2 s_3')}{2 c l^3}$$

$$P_2 = \frac{\pi i i' \lambda (c_3 s_1' + 2 c_1 s_3')}{2 c l^3}$$

$$P_3 = - \frac{\pi i i' \lambda (c_2 s_1' + 2 c_1 s_2')}{2 c l^3}$$

Die Drehungsmomente Q_1, Q_2, Q_3 , welche diese Sollizitation in Beziehung auf den Mittelpunkt O' des zweiten Kreises resp. um die Axe $O X, O Y, O Z$ erzeugen, sind

$$Q_1 = q_2' P_3 - q_3' P_2$$

$$Q_2 = q_3' P_1 - q_1' P_3$$

$$Q_3 = q_1' P_2 - q_2' P_1$$

Der Gesamteffekt der Sollizitation, welche der erste Kreisstrom auf den zweiten ausübt, stellt sich nicht mehr als eine einfache, durch einen bestimmten Punkt gehende Kraft, sondern als das System einer durch den Mittelpunkt O' des zweiten Kreises gehende Fortschrittskraft P' und ein um diesen Punkt wirkendes Kräftepaar Q' dar. Die drei Komponenten P_1', P_2', P_3' von P' ergeben sich durch Integration der vorstehenden Werthe von P_1, P_2, P_3 für den ganzen Umfang des zweiten Kreises, also für die Grenzen $\varphi' = 0$ bis $\varphi' = 2\pi$. Ebenso ergeben sich die drei Komponenten Q_1', Q_2', Q_3' des resultirenden Kräftepaares Q' durch Integration der Werthe von Q_1, Q_2, Q_3 für dieselben Grenzen.

Substituirt man in die Werthe von P_1, P_2, P_3 für s_1', s_2', s_3' ihre durch den Winkel φ' ausgedrückten Werthe; so liefert die Integration das Resultat

$$P_1' = P_2' = P_3' = 0$$

Hiernach übt ein Kreisstrom auf einen anderen Kreisstrom, deren beide Radien im Vergleich zur Entfernung der Mittelpunkte sehr klein sind, keine merkbare Zug- oder Schubkraft aus. Diese Kraft ist zwar nicht absolut null, aber sie tritt erst bei grosser Annäherung der Mittelpunkte merkbar hervor und ist in grösseren Entfernungen von höheren Potenzen der Radien ϱ und ϱ' abhängig. Ihre Bestimmung erfordert die Entwicklung aller obigen Formeln bis zu den zweiten Potenzen von $\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3$ und $\varrho_1', \varrho_2', \varrho_3'$, welche wir auf S. 103 ff. vornehmen werden.

Für die Momente Q_1, Q_2, Q_3 ergiebt sich durch die Substitution der Werthe von P_1, P_2, P_3

$$Q_1 = \frac{\pi i i' \lambda}{2 c l^3} (-2 c_1 q_2' s_2' - c_2 q_2' s_1' - c_3 q_3' s_1' - 2 c_1 q_3' s_3')$$

$$Q_2 = \frac{\pi i i' \lambda}{2 c l^3} (-c_3 q_3' s_2' + c_2 q_3' s_3' + 2 c_1 q_1' s_2' + c_2 q_1' s_1')$$

$$Q_3 = \frac{\pi i i' \lambda}{2 c l^3} (c_3 q_1' s_1' + 2 c_1 q_1' s_3' + c_3 q_2' s_2' - c_2 q_2' s_3')$$

Integrirt man diese Ausdrücke für die akzentuirten Grössen von $\varphi' = 0$ bis $\varphi' = 2\pi$ und setzt den Flächenraum des zweiten Kreises $\pi \varrho'^2 = \pi b'^2 = \lambda'$; so ergiebt sich, da die Integrale von $q_1' s_1', q_2' s_2'$ etc. Werthe haben, welche sich aus den obigen Integralen für $q_1 s_1, q_2 s_2$ etc.

durch Akzentuirung der darin erscheinenden Grössen ergeben, für die Komponenten des resultirenden Kräftepaares, womit der Kreis vom Radius ϱ den Kreis vom Radius ϱ' sollizitirt,

$$Q_1' = \frac{\pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^3} \frac{c_2 c_3' - c_3 c_2'}{c c'}$$

$$Q_2' = \frac{\pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^3} \frac{2 c_1 c_3' + c_3 c_1'}{c c'}$$

$$Q_3' = - \frac{\pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^3} \frac{2 c_1 c_2' + c_2 c_1'}{c c'}$$

In diesen Formeln können $\frac{c_1}{c}$, $\frac{c_2}{c}$, $\frac{c_3}{c}$, $\frac{c_1'}{c'}$, $\frac{c_2'}{c'}$, $\frac{c_3'}{c'}$ durch die Kosinus der Neigungswinkel der Axen c und c' der beiden Kreisströme gegen die Koordinatenachsen ersetzt werden.

Das aus diesen drei Komponenten resultirende Kräftepaar hat das Moment

$$Q' = \sqrt{Q_1'^2 + Q_2'^2 + Q_3'^2}$$

dasselbe strebt den sollizitirten Kreisstrom um eine durch seinen Mittelpunkt O' gehende Linie zu drehen, deren Neigungswinkel ε_1' , ε_2' , ε_3' gegen die drei Koordinatenachsen durch die Werthe

$$\cos \varepsilon_1' = \frac{Q_1'}{Q'} \quad \cos \varepsilon_2' = \frac{Q_2'}{Q'} \quad \cos \varepsilon_3' = \frac{Q_3'}{Q'}$$

bestimmt sind. Wichtig ist der Werth des Neigungswinkels ψ' , welcher die Axe dieses Kräftepaares mit der Axe $O' C' = c'$ des sollizitirten Stromes bildet. Hierfür ergibt sich

$$\cos \psi' = \frac{1}{c' Q'} (c_1' Q_1' + c_2' Q_2' + c_3' Q_3') = 0$$

Diese Formel enthält den interessanten Satz, dass ein kleiner Kreisstrom einen anderen kleinen Kreisstrom um eine auf der Axe des letzteren Kreises normal stehende, also um eine in der Ebene dieses Kreises liegende Axe dreht.

Niemals äussert hiernach ein kleiner Kreisstrom das Bestreben, einen anderen kleinen Kreisstrom um dessen Axe zu drehen oder ihn in Rotation um diese Axe zu versetzen.

Eine Übertragung der Akzente auf die gleichnamigen nichtakzentuirten Grössen bedeutet eine Vertauschung des sollizitirenden und des sollizitirten Kreisstromes. Dabei wechselt das Moment Q_1' nur sein Zeichen, während die Momente Q_2' und Q_3' andere absolute Werthe annehmen. Der erste Kreisstrom dreht also den zweiten um die Verbindungslinie l ebenso stark nach der einen Seite, wie der zweite Kreisstrom den ersten nach der anderen Seite, während die Momente für die Drehungen um die normal auf l stehende Linie verschiedene Werthe haben.

Es ist nützlich, die in den letzten drei Nummern erörterten Fundamentalsätze der galvanischen Sollizitation nebeneinanderzustellen.

Dieselben lauten: Zwei Stromelemente sollizitiren sich mittelst einer in ihrer Verbindungslinie wirkenden Fortschrittskraft. Ein kleiner Kreisstrom sollizitirt ein Stromelement mittelst einer durch dieses Element gehenden, auf demselben normal stehenden Schubkraft; umgekehrt, sollizitirt ein Stromelement einen kleinen Kreisstrom mittelst einer durch den Mittelpunkt des Kreises gehenden, auf dem Elemente normal stehenden Schubkraft und zugleich mittelst einer Drehkraft, welche um eine auf der Verbindungslinie normal stehende Linie wirkt. Ein kleiner Kreisstrom sollizitirt einen anderen mittelst einer Drehungskraft, welche um eine in der Ebene des sollizitirten Kreises liegende Linie wirkt.

Gegen die Drehungsmomente sind die Fortschrittskräfte, welche zwei kleine Kreisströme auf einander äussern, wie schon erwähnt, ungemein klein, aber doch nicht gleich null. Für die Beziehung des Galvanismus zum Magnetismus ist es wichtig, diese Fortschrittskräfte zu entwickeln, also die obigen Formeln bis auf Glieder von zwei der kleinen Dimensionen $q_1, q_2, q_3, q_1', q_2', q_3'$ zu entwickeln. Zu dem Ende setzen wir

$$r^2 = l^2 + 2l(q_1 - q_1') + q^2 + q'^2 - 2(q_1 q_1' + q_2 q_2' + q_3 q_3')$$

$$\frac{1}{r^3} =$$

$$\frac{1}{l^3} - \frac{3(q_1 - q_1')}{l^4} - \frac{3(q^2 + q'^2)}{2l^5} + \frac{3(q_1 q_1' + q_2 q_2' + q_3 q_3')}{l^5} + \frac{15(q_1 - q_1')^2}{2l^5}$$

$$\frac{1}{r^5} =$$

$$\frac{1}{l^5} - \frac{5(q_1 - q_1')}{l^6} - \frac{5(q^2 + q'^2)}{2l^7} + \frac{5(q_1 q_1' + q_2 q_2' + q_3 q_3')}{l^7} + \frac{35(q_1 - q_1')^2}{2l^7}$$

Da nach der Substitution dieser Werthe in die Ausdrücke von p_1, p_2, p_3 bei der späteren Integration alle Glieder, welche weniger als zwei der gedachten kleinen Dimensionen haben, null werden; so kann man dieselben ganz auf sich beruhen lassen und braucht nur die Glieder von zwei Dimensionen herzustellen, welche einen Zuschuss zu jenen Gliedern bilden. Dieser Zuschuss hat für p_1, p_2, p_3 resp. den Werth

$$-\frac{3 \pi i i'}{l^4} t_1, \quad \frac{3 \pi i i'}{l^4} t_2, \quad \frac{3 \pi i i'}{l^4} t_3$$

Für die Faktoren t_1, t_2, t_3 findet man nach gehöriger Zusammenziehung und wenn man beachtet, dass die von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 2\pi$ genommenen Integrale von $\sin^3 \varphi \partial \varphi, \cos^3 \varphi \partial \varphi, \sin^2 \varphi \cos \varphi \partial \varphi$ und $\sin \varphi \cos^2 \varphi \partial \varphi$, also die Integrale aller Produkte von drei der Grössen $q_1, q_2, q_3, s_1, s_2, s_3$ null werden und dass auch die Integrale von $q_1 s_1, q_2 s_2, q_3 s_3$, sowie die von s_1, s_2, s_3 gleich null sind, indem man also alle Glieder, deren späteres Integral null wird, streicht, folgende Werthe

$$t_1 = q_1 s_2 \left(-2 q_1' s_2' - \frac{3}{2} q_2' s_1' \right) + q_1 s_3 \left(-2 q_1' s_3' - \frac{3}{2} q_3' s_1' \right)$$

$$+ q_2 s_1 \left(-\frac{3}{2} q_2' s_1' - \frac{3}{2} q_1' s_2' \right) + q_2 s_3 \left(q_2' s_3' + \frac{1}{2} q_3' s_2' \right)$$

$$+ q_3 s_1 \left(-\frac{3}{2} q_3' s_1' - \frac{3}{2} q_1' s_3' \right) + q_3 s_2 \left(q_3' s_2' + \frac{1}{2} q_2' s_3' \right)$$

$$t_2 = \varrho_1 s_2 \cdot \varrho_2' s_2' + \varrho_1 s_3 \cdot \varrho_2' s_3' + \varrho_2 s_1 \left(-2 \varrho_1' s_1' + \frac{1}{2} \varrho_2' s_2' \right) \\ + \varrho_2 s_3 \left(\varrho_1' s_3' + \frac{1}{2} \varrho_3' s_1' \right) + \varrho_3 s_1 \cdot \frac{1}{2} \varrho_2' s_3' \\ t_3 = \varrho_1 s_2 \cdot \varrho_3' s_2' + \varrho_1 s_3 \cdot \varrho_3' s_3' + \varrho_2 s_1 \cdot \frac{1}{2} \varrho_3' s_2'$$

$$+ \varrho_3 s_1 \left(-2 \varrho_1' s_1' + \frac{1}{2} \varrho_3' s_3' \right) + \varrho_3 s_2 \left(\varrho_1' s_2' + \frac{1}{2} \varrho_2' s_1' \right)$$

Durch Integration der aus zwei nichtakzentuirten Faktoren bestehenden Produkte von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 2\pi$ ergibt sich dann, als Zuschuss zu den früheren Werthen von P_1, P_2, P_3 resp.

$$\frac{3 \pi i i' \lambda}{c l^4} T_1, \quad \frac{3 \pi i i' \lambda}{c l^4} T_2, \quad \frac{3 \pi i i' \lambda}{c l^4} T_3$$

worin

$$T_1 = c_1 \left(\frac{1}{2} \varrho_2' s_3' - \frac{1}{2} \varrho_3' s_2' \right) + \frac{1}{2} c_2 \varrho_1 s_3' - \frac{1}{2} c_3 \varrho_1' s_2'$$

$$T_2 = c_1 \left(\varrho_1' s_3' + \frac{1}{2} \varrho_3' s_1' \right) - \frac{1}{2} c_2 \varrho_2' s_3' + c_3 \left(2 \varrho_1' s_1' + \frac{1}{2} \varrho_2' s_2' \right)$$

$$T_3 = -c_1 \left(\varrho_1' s_2' + \frac{1}{2} \varrho_2' s_1' \right) - c_2 \left(2 \varrho_1' s_1' + \frac{1}{2} \varrho_3' s_3' \right) + \frac{1}{2} c_3 \varrho_3' s_2'$$

Integriert man jetzt die akzentuirten Produkte von $\varphi' = 0$ bis $\varphi' = 2\pi$; so ergeben sich die gesuchten Komponenten der Kraft P' in der Form

$$P_1' = \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{2 c_1 c_1' - c_2 c_2' - c_3 c_3'}{c c'}$$

$$P_2' = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{c_1 c_2' + c_2 c_1'}{c c'}$$

$$P_3' = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{c_1 c_3' + c_3 c_1'}{c c'}$$

Bezeichnet man mit $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ die Neigungswinkel der Axe c des sollizitirenden Stromes gegen die Koordinatenachsen $O X, O Y, O Z$, mit $\alpha_1', \alpha_2', \alpha_3'$ die Neigungswinkel der Axe c' des sollizitirten Stromes gegen die Koordinatenachsen und mit γ den Neigungswinkel, welchen die beiden Axen c und c' miteinander bilden, sodass $c_1 c_1' + c_2 c_2' + c_3 c_3' = c c' \cos \gamma$ ist; so wird

$$P_1' = \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} (3 \cos \alpha_1 \cos \alpha_1' - \cos \gamma)$$

$$P_2' = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} (\cos \alpha_1 \cos \alpha_2' + \cos \alpha_2 \cos \alpha_1')$$

$$P_3' = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} (\cos \alpha_1 \cos \alpha_3' + \cos \alpha_3 \cos \alpha_1')$$

Hiernach sollizitiren sich zwei kleine Kreisströme mit einer Fortschrittskraft, welche umgekehrt wie die vierte Potenz der Entfernung l variirt.

Sind die Ebenen der beiden Kreisströme oder ihre Axen c und c' parallel und liegen diese Axen in der Linie l nach derselben Seite, so dass $c_1 = c$, $c_2 = 0$, $c_3 = 0$, $c_1' = c'$, $c_2' = 0$, $c_3' = 0$; so wird

$$P_1' = \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{l^4} \quad P_2' = 0 \quad P_3' = 0$$

Die beiden einander gegenüber liegenden parallelen und gleich gerichteten Ströme ziehen sich also an: entgegengesetzte Ströme, für welche $c' = -c$ ist, stossen sich unter solchen Umständen ab. Die vorstehende Formel gilt nur unter der Voraussetzung, dass ρ sehr klein gegen l sei. Ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt, liegen also die beiden Kreisströme sehr nahe vor einander; so nähert sich das Gesetz der Anziehungskraft immer mehr dem der Anziehung paralleler galvanischer Elemente, d. h. dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung. Übrigens kann die Anziehungskraft nicht ins Unendliche wachsen, da der kleinste Werth, welchen l bei der innigsten Berührung der beiden Kreisströme annimmt, gleich der Summe der Radien der Generatrizen der beiden kreisförmigen Leiter ist.

Liegt die Axe c' des sollizitirten Stromes in der Richtung von l , während die des sollizitirenden Stromes darauf normal steht, ist also $c_1 = 0$, $c_2 = 0$, $c_3 = c$, $c_1' = c'$, $c_2' = 0$, $c_3' = 0$; so hat man

$$P_1' = 0, \quad P_2' = 0, \quad P_3' = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4}$$

Diese Ströme stossen sich also ab.

Sind beide Axen c und c' parallel und gleich gerichtet und stehen sie normal auf der Verbindungslinie l , ist also $c_1 = 0$, $c_2 = 0$, $c_3 = c$, $c_1' = 0$, $c_2' = 0$, $c_3' = c'$; so wird

$$P_1' = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4}, \quad P_2' = 0, \quad P_3' = 0$$

20. Magnetische Sollizitation.

Nach unserer Theorie besteht der Magnetismus nicht in kleinen Kreisströmen, sondern in dem Spannungszustande, in welchen die Urstoffe durch Verdrehung versetzt werden. Diess ist derselbe Spannungszustand, welcher sich in Kreisströmen bildet; die magnetische Sollizitation kann daher nichts Anderes sein, als die galvanische Sollizitation, welche kleine kreisförmige Galvanide aufeinander ausüben.

Hiernach enthält die vorhergehende Nummer die Grundformeln der magnetischen Sollizitation, wenn man unter c und c' die magnetischen Axen und unter $i\lambda$ und $i'\lambda'$ die magnetischen Intensitäten zweier Elemente versteht. Diese Formeln lehren, dass zwei magnetische Elemente aufeinander eine relativ unbedeutende Fortschrittskraft P' und vornehmlich nur eine Drehkraft Q' ausüben, deren Moment die drei Komponenten Q_1' , Q_2' , Q_3' hat. Diese Drehkraft variirt umgekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung l , während die sehr geringe Fortschrittskraft P' , deren Komponenten P_1' , P_2' , P_3' sind, umgekehrt wie die vierte Potenz von l variirt.

Die faktischen Erscheinungen des Magnetismus auf der Erde, namentlich die Wechselwirkung zwischen dem Erdmagnetismus und den künstlichen Magneten sind fast ausschliesslich durch die Drehungsmomente Q bedingt, indem die Fortschrittskräfte P wegen des grossen Werthes, welchen hier die dem Erdhalbmesser nahezu gleiche Grösse l annimmt, gegen jene Momente fast ganz verschwinden. Insofern man diesen Fortschrittskräften einmal Rechnung tragen will, zeigen sie ein ganz anderes Verhalten der Magneten an, als der gewöhnlichen Meinung entspricht. Ist z. B. in Fig. 65 NS der sollizitirende Magnet mit dem Nordpole N und dem Südpole S ; so stösst das bei N liegende Element das Element N' des parallelen Magneten $N'S'$, aber auch das Element S'' des Magneten $N''S''$ ab, weil die äquivalenten Kreisströme bei N , N' und S'' gleichlaufend sind. Für den Magnet $N'S'$ ist N' ein Nordpol, für $N''S''$ dagegen ist S'' ein Südpol; es kann also ein Nordpol, sowohl einen Nordpol, als auch einen Südpol abstossen. In Fig. 66 zieht der Nordpol N sowohl den Südpol S' , als auch den Nordpol N'' eines anderen Magneten an, weil die äquivalenten Kreisströme bei S' und N'' dem bei N entgegengesetzt laufen. Da die am Nordpole und am Südpole liegenden Kreisströme dieselbe Stromrichtung haben; so leuchtet ein, dass der Pol N eines Magneten NS (Fig. 67) sowohl den Nordpol, als auch den Südpol eines anderen Magneten in jeder beliebigen Richtung des letzteren anzuziehen oder abzustossen vermag, jenachdem sich der letztere Magnet von dem gedachten Pole aus in der Richtung $S'N'$ oder in der Richtung $N''S''$ erstreckt.

Andererseits ist aber auch klar, dass die Drehkraft, welche das magnetische Element N des Magneten NS auf den Südpol S' des Magneten $S'N'$ oder auf den Nordpol N'' des Magneten $N''S''$ ausübt, weil diese Kraft für beide Fälle dieselbe Rotationsrichtung bedingt, den im Schwerpunkte C' aufgehängten Magneten $S'N'$ und den im Schwerpunkte C'' aufgehängten Magneten $N''S''$ in übereinstimmender Weise, wie die Pfeile andeuten, zu drehen strebt, dass also die Drehkraft den Anschein hervorbringt, als ob gleichnamige Magnetpole sich abstiessen und ungleichnamige sich anzögen.

Es hat ein Interesse, die magnetische Sollizitation zweier Elemente mit der Wirkung zweier entgegengesetzten Urstoffe C und D , sowie C' und D' , welche in der Richtung der magnetischen Axen DC und $D'C'$ (Fig. 68) verschoben sind, unter der Voraussetzung zu vergleichen, dass diese Urstoffe wie freie elektrische Massen aufeinander wirken (dass also CD und $C'D'$ nicht etwa galvanische Elemente darstellen). Bezeichnet man mit x, y, z die Koordinaten des Mittelpunktes R des sollizitirenden Elementes $DC = \partial s$, mit x', y', z' die des sollizitirten $C'D' = \partial s'$, sodass die Projektion der Entfernung $O'R = r$ die Werthe $x - x' = u$, $y - y' = v$, $z - z' = w$ haben, ferner mit $\partial x', \partial y', \partial z$ die Projektionen von ∂s , mit $\partial x', \partial y', \partial z'$ die von $\partial s'$ und setzt zur Abkürzung

$$\begin{aligned} u \partial x + v \partial y + w \partial z &= \sigma \\ u \partial x' + v \partial y' + w \partial z' &= \sigma' \\ \partial x \partial x' + \partial y \partial y' + \partial z \partial z' &= t \end{aligned}$$

so ergeben sich für die Linien $C' C = r_1$, $D' C = r_2$, $C' D = r_3$, $D' D = r_4$ die Werthe

$$\begin{aligned} r_1^2 &= \left(x - x' - \frac{1}{2} \partial x + \frac{1}{2} \partial x' \right)^2 + \left(y - y' - \frac{1}{2} \partial y + \frac{1}{2} \partial y' \right)^2 \\ &\quad + \left(z - z' - \frac{1}{2} \partial z + \frac{1}{2} \partial z' \right)^2 \\ r_2^2 &= \left(x - x' - \frac{1}{2} \partial x - \frac{1}{2} \partial x' \right)^2 + \left(y - y' - \frac{1}{2} \partial y - \frac{1}{2} \partial y' \right)^2 \\ &\quad + \left(z - z' - \frac{1}{2} \partial z - \frac{1}{2} \partial z' \right)^2 \\ r_3^2 &= \left(x - x' + \frac{1}{2} \partial x + \frac{1}{2} \partial x' \right)^2 + \left(y - y' + \frac{1}{2} \partial y + \frac{1}{2} \partial y' \right)^2 \\ &\quad + \left(z - z' + \frac{1}{2} \partial z + \frac{1}{2} \partial z' \right)^2 \\ r_4^2 &= \left(x - x' + \frac{1}{2} \partial x - \frac{1}{2} \partial x' \right)^2 + \left(y - y' + \frac{1}{2} \partial y - \frac{1}{2} \partial y' \right)^2 \\ &\quad + \left(z - z' + \frac{1}{2} \partial z - \frac{1}{2} \partial z' \right)^2 \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} r_1^2 &= r^2 \left\{ 1 - \frac{\sigma - \sigma'}{r^2} + \frac{1}{4 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 - 2t) \right\} \\ r_2^2 &= r^2 \left\{ 1 - \frac{\sigma + \sigma'}{r^2} + \frac{1}{4 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 + 2t) \right\} \\ r_3^2 &= r^2 \left\{ 1 + \frac{\sigma + \sigma'}{r^2} + \frac{1}{4 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 + 2t) \right\} \\ r_4^2 &= r^2 \left\{ 1 + \frac{\sigma - \sigma'}{r^2} + \frac{1}{4 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 - 2t) \right\} \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich, wenn man die Ausdrücke bis auf unendlich kleine Glieder zweiter Ordnung entwickelt,

$$\begin{aligned} \frac{1}{r_1^3} &= \frac{1}{r^3} \left\{ 1 + \frac{3}{2} \frac{\sigma - \sigma'}{r^2} - \frac{3}{8 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 - 2t) + \frac{15}{8 r^4} (\sigma - \sigma')^2 \right\} \\ \frac{1}{r_2^3} &= \frac{1}{r^3} \left\{ 1 + \frac{3}{2} \frac{\sigma + \sigma'}{r^2} - \frac{3}{8 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 + 2t) + \frac{15}{8 r^4} (\sigma + \sigma')^2 \right\} \\ \frac{1}{r_3^3} &= \frac{1}{r^3} \left\{ 1 - \frac{3}{2} \frac{\sigma + \sigma'}{r^2} - \frac{3}{8 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 + 2t) + \frac{15}{8 r^4} (\sigma + \sigma')^2 \right\} \\ \frac{1}{r_4^3} &= \frac{1}{r^3} \left\{ 1 - \frac{3}{2} \frac{\sigma - \sigma'}{r^2} - \frac{3}{8 r^2} (\partial s^2 + \partial s'^2 - 2t) + \frac{15}{8 r^4} (\sigma - \sigma')^2 \right\} \end{aligned}$$

Ist n die Menge des nach C verschobenen positiven und des nach D verschobenen negativen Urstoffes, ferner n' die Menge des nach C' verschobenen positiven und des nach D' verschobenen negativen Urstoffes, bezeichnen ferner p_1 und p_4 die in den Richtungen $C' C$ und $D' D$ wirkenden Abstossungen und p_2 und p_3 die in den Richtungen $D' C$

und $C D$ wirkenden Anziehungen; so ist, wenn wir von einem gemeinschaftlichen konstanten Koeffizienten absehen,

$$p_1 = -\frac{n n'}{r_1^2}, \quad p_2 = \frac{n n'}{r_2^2}, \quad p_3 = \frac{n n'}{r_3^2}, \quad p_4 = -\frac{n n'}{r_4^2}$$

Zerlegt man jede dieser Kräfte, deren Winkel gegen die drei Axen resp. $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \alpha_3, \beta_3, \gamma_3, \alpha_4, \beta_4, \gamma_4$ sein mögen, in die drei Komponenten parallel zu den Koordinatenaxen und addirt alle in dieselbe Axe fallenden Kräfte; so ergibt sich für die parallel zur Axe $O X$ wirkende Kraft P_1'

$$P_1' = p_1 \cos \alpha_1 + p_2 \cos \alpha_2 + p_3 \cos \alpha_3 + p_4 \cos \alpha_4$$

oder

$$P_1' = n n' \left\{ -\frac{u - \frac{1}{2} \partial x + \frac{1}{2} \partial x'}{r_1^3} + \frac{u - \frac{1}{2} \partial x - \frac{1}{2} \partial x'}{r_2^3} + \frac{u + \frac{1}{2} \partial x + \frac{1}{2} \partial x'}{r_3^3} - \frac{u + \frac{1}{2} \partial x - \frac{1}{2} \partial x'}{r_4^3} \right\}$$

Eine Vertauschung der Grössen $\partial x, \partial x'$ mit $\partial y, \partial y'$ giebt die parallel zur $O Y$ wirkende Kraft P_2' und eine Vertauschung mit $\partial z, \partial z'$ die parallel zu $O Z$ wirkende Kraft P_3' .

Durch Substitution der Werthe von $\frac{1}{r_1^3}, \frac{1}{r_2^3}, \frac{1}{r_3^3}, \frac{1}{r_4^3}$ kömmt, da sich alle endlichen und unendlich kleinen Glieder erster Ordnung aufheben,

$$P_1' = n n' \left\{ -\frac{3 u t}{r^5} + \frac{15 u \sigma \sigma'}{r^7} - \frac{3 (\sigma \partial x' + \sigma' \partial x)}{r^5} \right\}$$

$$P_2' = n n' \left\{ -\frac{3 v t}{r^5} + \frac{15 v \sigma \sigma'}{r^7} - \frac{3 (\sigma \partial y' + \sigma' \partial y)}{r^5} \right\}$$

$$P_3' = n n' \left\{ -\frac{3 w t}{r^5} + \frac{15 w \sigma \sigma'}{r^7} - \frac{3 (\sigma \partial z' + \sigma' \partial z)}{r^5} \right\}$$

Ausser diesen Fortschrittskräften kommen die Drehkräfte in Betracht. Das Moment der Kraft Q_1 , welche das Element ∂s um die Axe $O X$ dreht (wobei die Drehung von Y nach Z als die positive gilt) ist,

$$Q_1 = \frac{1}{2} \partial y (p_1 \cos \gamma_1 + p_2 \cos \gamma_2 - p_3 \cos \gamma_3 - p_4 \cos \gamma_4) \\ + \frac{1}{2} \partial z (-p_1 \cos \beta_1 - p_2 \cos \beta_2 + p_3 \cos \beta_3 + p_4 \cos \beta_4)$$

Das um $O Y$ drehende Moment Q_2 ergibt sich durch Vertauschung der Grössen y, z, γ, β resp. mit z, x, α, γ und das um $O Z$ drehende Moment Q_3 durch Vertauschung der Grössen y, z, γ, β resp. mit x, y, β, α . Substituirt man für die Fortschrittskräfte und die Kosinus ihre Werthe; so erhält man, da sich in den Faktoren von $\partial x, \partial y, \partial z$ die endlichen Glieder aufheben,

$$Q_1 = n n' \left\{ \frac{3 \sigma' (w \partial y - v \partial z)}{r^5} - \frac{\partial y \partial z' - \partial z \partial y'}{r^3} \right\}$$

$$Q_2 = n n' \left\{ \frac{3 \sigma' (u \partial z - w \partial x)}{r^5} - \frac{\partial z \partial x' - \partial x \partial z'}{r^3} \right\}$$

$$Q_3 = n n' \left\{ \frac{3 \sigma' (v \partial x - u \partial y)}{r^5} - \frac{\partial x \partial y' - \partial y \partial x'}{r^3} \right\}$$

Sieht man, wie früher, das Element $\partial s'$ als das sollizitirte an; so wird

$$Q_1' = n n' \left\{ \frac{3 \sigma (w \partial y' - v \partial z')}{r^5} - \frac{\partial z \partial y' - \partial y \partial z'}{r^3} \right\}$$

$$Q_2' = n n' \left\{ \frac{3 \sigma (u \partial z' - w \partial x')}{r^5} - \frac{\partial x \partial z' - \partial z \partial x'}{r^3} \right\}$$

$$Q_3' = n n' \left\{ \frac{3 \sigma (v \partial x' - u \partial y')}{r^5} - \frac{\partial y \partial x' - \partial x \partial y'}{r^3} \right\}$$

Durch Verlegung der Axe der x in die Verbindungslinie r der beiden Elemente wird, unter Einführung der in der vorhergehenden Nummer angenommenen Bezeichnung, $u = r$, $v = 0$, $w = 0$, $\partial s = c$, $\partial x = c_1$, $\partial y = c_2$, $\partial z = c_3$, $\partial s' = c'$, $\partial x' = c_1'$, $\partial y' = c_2'$, $\partial z' = c_3'$, $\sigma = c_1 r$, $\sigma' = c_1' r$, $t = c_1 c_1' + c_2 c_2' + c_3 c_3'$, mithin

$$P_1' = \frac{3 n n' \partial s \partial s'}{r^4} \frac{2 c_1 c_1' - c_2 c_2' - c_3 c_3'}{c c'}$$

$$P_2' = - \frac{3 n n' \partial s \partial s'}{r^4} \frac{c_1 c_2' + c_2 c_1'}{c c'}$$

$$P_3' = - \frac{3 n n' \partial s \partial s'}{r^4} \frac{c_1 c_3' + c_3 c_1'}{c c'}$$

$$Q_1' = \frac{n n' \partial s \partial s'}{r^3} \frac{c_2 c_3' - c_3 c_2'}{c c'}$$

$$Q_2' = \frac{n n' \partial s \partial s'}{r^3} \frac{2 c_1 c_3' + c_3 c_1'}{c c'}$$

$$Q_3' = - \frac{n n' \partial s \partial s'}{r^3} \frac{2 c_1 c_2' + c_2 c_1'}{c c'}$$

Diese Werthe von P_1' , P_2' , P_3' , Q_1' , Q_2' , Q_3' stimmen mit den für die Sollizitation kleiner Kreisströme gefundenen genau überein, wenn man den konstanten Koeffizienten, womit dieselben noch zu multiplizieren sind, $k = \frac{1}{2} \kappa$ und $n \partial s = i \lambda$, $n' \partial s' = i' \lambda'$ setzt.

Hiermit ist die Identität des mathematischen Resultates der Sollizitation zwischen zwei kleinen Kreisströmen oder zwei magnetischen Elementen und zwei in der Richtung der magnetischen Axen dieser Elemente geschiedenen freien Elektrizitätsmengen streng bewiesen, weil unsere Formeln für unendlich kleine Elemente absolut genau sind; es folgt daraus aber weder die physikalische Identität des Magneten mit einem Systeme von zwei entgegengesetzten, in der Richtung der magnetischen Axe verschobenen Medien, noch die des Magneten mit einem Systeme von galvanischen Kreisströmen. In der Wirklichkeit beruht der Magnetismus nicht auf der geradlinigen Verschiebung

der Urstoffe längs der magnetischen Axe, sondern auf der Verdrehung der Urstoffe in einem auf dieser Axe normal stehenden Kreise. Diese Verdrehung wirkt zwar wie ein galvanischer Kreisstrom, ist aber kein solcher Strom, sondern ein bewegungslos verharrender ringförmiger Spannungszustand.

Ich gestatte mir hier die Ansicht zu wiederholen, dass der Erdkörper kein Magnet ist, auch kein System von kleinen Kreisströmen enthält, dass vielmehr der Erdkörper einen grossen in der oberen Erdrinde kreisenden galvanischen Strom in sich birgt, welcher durch die Rotation der Erde unter der Erwärmung der Sonne erzeugt wird, also ein thermo-elektrischer Strom ist, und welcher wegen der Unregelmässigkeit in der Form und Beschaffenheit der Erdrinde nicht kreisrund und vollkommen äquatorial sein kann, sondern ein Inbegriff von Stromfäden mit mehr oder weniger verschiedener Form und Intensität ist, welcher in Folge der Bewegung der Erde um sich selbst, um die Sonne und im Weltenraume tägliche, jährliche und sekulare Variationen erleidet.

Die vorstehende Rechnung erklärt es, dass man den Erdkörper rechnungsmässig wie einen magnetischen Körper und diesen wieder wie eine Verschiebung entgegengesetzter freier Medien in der Richtung der magnetischen Axen behandeln kann, ohne dass die Übereinstimmung der Rechnungsergebnisse mit der Erscheinung einen Beweis dafür lieferte, dass der Erdkörper ein wirklicher Magnet und der Magnetismus wirklich eine axiale Verschiebung entgegengesetzter freier Medien wäre.

Dass der grosse äquatoriale Erdstrom alle im Erdkörper enthaltenen magnetisirbaren Stoffe durch Induktion zu temporären Magneten macht und dass diese die magnetische Wirkung der Erde auf ihrer Oberfläche mitbedingen, ist selbstverständlich.

Die für die Zug- und Drehkräfte zweier magnetischen Elemente gefundenen Werthe liefern eine Anzahl beachtenswerther Relationen, von welchen wir einige anführen. Die schon in voriger Nummer aufgestellte Formel

$$c_1' Q_1' + c_2' Q_2' + c_3' Q_3' = 0$$

welche sagt, dass die Drehungsaxe der resultirenden Drehkraft Q auf der magnetischen Axe c' des sollizitirten Elementes normal steht, dass also keine Tendenz obwaltet, dieses Element um seine eigene Axe zu drehen, enthält zugleich das Gesetz der Abhängigkeit, in welcher die drei Komponenten Q_1' , Q_2' , Q_3' dieser Drehkraft zueinander stehen.

Eine andere Relation zwischen diesen Kräften ist

$$2 c_1 Q_1' - c_2 Q_2' - c_3 Q_3' = 0$$

Schreibt man diese Gleichung in der Form

$$3 c_1 Q_1' - (c_1 Q_1' + c_2 Q_2' + c_3 Q_3') = 0$$

so liefert dieselbe, wenn man den Neigungswinkel der auf das sollizitirte Element wirkenden Drehkraft Q' gegen die magnetische Axe c des sollizitirenden Elementes mit ψ und gegen die Axen $O X$, $O Y$, $O Z$ mit ε_1 , ε_2 , ε_3 bezeichnet, die Formel

$$3 \cos \alpha \cos \varepsilon_1 - \cos \psi = 0$$

Wenn das sollizitirende Element fest und das sollizitirte um seinen Schwerpunkt drehbar ist; so wird letzteres im Gleichgewichte sein, wenn alle drei Drehkräfte Q_1' , Q_2' , Q_3' gleich null sind, was sich ereignet, sobald zwei derselben gleich null sind. In der Gleichgewichtslage nimmt das sollizitirte Element die durch

$$c_2 c_3' = c_3 c_2' \quad 2 c_1 c_3' = - c_3 c_1' \quad 2 c_1 c_2' = - c_2 c_1'$$

definirte Stellung an. Nimmt man die durch die Verbindungslinie l und die magnetische Axe c des sollizitirenden Elementes gehende Ebene zur Koordinatenebene XY , sodass $c_3 = 0$ ist; so fordert das Gleichgewicht

$$c_3' = 0 \quad \text{und} \quad \frac{c_1'}{c_2'} = - \frac{2 c_1}{c_2}$$

oder

$$\cos \alpha_3' = 0 \quad \text{und} \quad \cot \alpha_1' = - 2 \cot \alpha_1$$

Das sollizitirte Element stellt sich also in eine Meridianebene des sollizitirenden und nimmt gegen die Verbindungslinie l einen Winkel an, dessen Kotangente den doppelten Werth der Kotangente des Neigungswinkels α_1 der Axe des sollizitirenden Elementes gegen diese Linie und das entgegengesetzte Zeichen hat.

In dieser Stellung hat das sollizitirte Element zwar keine Tendenz zur Drehung, wohl aber zum Fortschritt. Die Zug- und Schubkräfte, womit dasselbe sollizitirt wird, sind für die zuletzt angenommene Lage der Koordinatenachsen

$$\begin{aligned} P_1' &= + \frac{3 \kappa i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{\sqrt{1 + 3 c_1'^2}}{c} = + \frac{3 \kappa i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \alpha_1} \\ P_2' &= + \frac{3 \kappa i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{c_1 c_2}{c \sqrt{c^2 + 3 c_1'^2}} = + \frac{3 \kappa i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{\sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \alpha_1}} \\ P_3' &= 0 \end{aligned}$$

Hieraus folgt, dass das sollizitirte Element, wenn es die Gleichgewichtslage gegen die Drehung angenommen hat, keinen Druck P_3' gegen die Meridianebene des sollizitirenden Elementes, wohl aber stets einen Druck P_1' in der Verbindungslinie l ausübt. Der letztere Druck kann niemals null werden, sondern liegt zwischen einem Minimum und Maximum von den absoluten Werthen

$$\frac{3 \kappa i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \quad \text{und} \quad \frac{3 \kappa i i' \lambda \lambda'}{l^4}$$

Hieraus folgt, dass der Erdmagnetismus oder der thermo-elektrische Erdstrom jeden auf der Oberfläche der Erde befindlichen Magneten je nach dessen Lage in vertikaler Richtung anzieht oder abstösst, also sein Gewicht ändert.

Die in der Meridianebene liegende, auf der Verbindungslinie l normal stehende Schubkraft P_2' ist nur in zwei Fällen null: einmal, wenn $c_2 = 0$ oder $\alpha_1 = 0$ ist, und einmal, wenn $c_1 = 0$ oder $\alpha_1 = 90^\circ$ ist, also nur dann, wenn das sollizitirte Element entweder in der Richtung der magnetischen Axe des sollizitirenden, oder in einer normal darauf stehenden Linie liegt. Diese Kraft erreicht ihr Maximum, wenn

$\cos \alpha_1 = \sqrt{\frac{1}{3}}$, also wenn die Verbindungslinie l sich unter dem Winkel von $54^\circ 44'$ gegen die magnetische Axe des sollizitirenden Elementes neigt.

Das sollizitirte Element kann gegen das sollizitirende stets zwei entgegengesetzte Lagen annehmen, wovon die eine stabil, die andere labil ist. Da der Werth von P_2' für die Gleichgewichtslage auch

$$P_2' = \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{2 l^4} \frac{c_1 c_2'}{c c'} = - \frac{3 \pi i i' \lambda \lambda'}{4 l^4} \frac{c_2 c_1'}{c c'}$$

geschrieben werden kann; so treibt die Kraft P_2' das sollizitirte Element im stabilen Gleichgewichte gegen einen in der magnetischen Axe des sollizitirenden Elementes liegenden Punkt. Wenn man sich also das sollizitirende magnetische Element in dem Mittelpunkte einer flüssigen Kugel vom Radius l und in der Richtung der Axe dieser Kugel angebracht und das sollizitirte Element auf der Oberfläche dieser Kugel schwimmend denkt; so wird das letztere stets dem nächsten Pole zuschwimmen, um sich dort in axialer Richtung aufzustellen.

Eine ähnliche Tendenz hat jede Magnetnadel auf der Oberfläche der Erde, und wenn man sich vorstellt, dass der grosse thermo-electrische Erdstrom unter Umständen in gewissen Theilen der Atmosphäre durch Induktion Kreisströme oder Verdrehungen (Torsionen) erregt, welche sich wie magnetische Elemente aneinanderreihen oder sich in spiralförmigen Windungen in der Richtung von Erdradien fortpflanzen, sodass sie magnetische, einander abstossende Linien bilden; so werden diese Linien gegen den Pol oder gegen eine im magnetischen Pole konvergierende Kugelfläche gedrängt, deren Seitenlinien die Richtungen der Inklinationsnadeln sind. Dieselben werden hiernach aufschliessende, spiralförmig sich windende oder sich schlängelnde, wegen der gegenseitigen Repulsion sich konisch gruppierende Strahlenbündel bilden, welche in dem schlechten atmosphärischen Leiter Licht- und Schalleffekte erzeugen, also dem Nordlichte die Entstehung geben. Dieses Licht wird, indem es den induzirenden Erdstrom schwächt, allen auf der Erde befindlichen Magnetnadeln fühlbar werden.

Des Nordlichtes als einer Wirkung des Erdstromes ist bereits in §. 410 der „Naturgesetze“ gedacht, nachdem in §. 409 auch das Erdbeben als eine Wirkung dieses Stromes erörtert ist.

Über die Sollizitation galvanischer und magnetischer Elemente machen wir noch folgende Bemerkung: Ein jeder der in Nr. 17 bis 20 entwickelten Ausdrücke für eine fortschrittliche oder rotatorische Sollizitationskraft bildet in dem von der Richtung der sich sollizitirenden Elemente abhängigen Richtungskoeffizienten einen Inbegriff von Gliedern, welche aus zwei Faktoren bestehen, wovon einer dem sollizitirenden und einer dem sollizitirten Elemente angehört und eine Projektion dieses Elementes auf irgend eine der drei Koordinatenachsen darstellt. Ausserdem wiederholt sich in derselben Formel einunddieselbe Projektion in keinem zweiten Gliede. Hieraus geht hervor, dass wenn man das sollizitirte und das sollizitirende Element in seine drei

Projektionen zerlegt und jede Projektion des einen auf jede Projektion des anderen wirken lässt, eine Summation der entstehenden 9 Kräfte genau denselben Ausdruck liefert, wie er aus der Wirkung der unzerlegten Elemente hervorgeht. Hiernach ist es zulässig, jedes galvanische und magnetische Element in drei rechtwinkliche Komponenten zu zerlegen. Bei der Sollizitation zweier galvanischen Elemente wird übrigens die Wirkung zwischen zwei nicht parallelen Komponenten gleich null.

Schliesslich erwähne ich, dass die in §. 399 der „Naturgesetze“ gegebenen Formeln für die magnetische Sollizitation nur in dem Richtungskoeffizienten eine kleine Abweichung von den vorstehenden Formeln aufweisen. Diese Abweichung entspringt daraus, dass ich im §. 377 die vier Linien, welche vorstehend mit r_1, r_2, r_3, r_4 bezeichnet sind und in Figur 68 die Entfernungen $C' C, D' C, C' D, D' D$ darstellen, wegen der ungemeinen Kleinheit des sollizitirenden und sollizitirten Elementes wie Parallelen behandelt habe. Diese Abkürzung ist jedoch da, wo bei der späteren Summation die kleinen Glieder erster Ordnung verschwinden, nicht statthaft und führt zu den in Rede stehenden Abweichungen. Abgesehen von diesen Differenzen, zeigen jene Formeln die auch jetzt wieder bestätigte Abhängigkeit der eigentlichen magnetischen Anziehungskraft von der vierten Potenz der Entfernung, sowie die Abhängigkeit der magnetischen Richtkraft von der dritten Potenz.

Ebenso wie wir die Theorie des Magnetismus, welche denselben in faktische molekulare Kreisströme verwandelt, für eine Fiktion halten, ebenso müssen wir die Theorie, welche in dem magnetischen Zustande eine Verschiebung zweier entgegengesetzten Medien in axialer Richtung erblickt, für unhaltbar erachten. Die Täuschung, aus welcher die letztere Theorie entspringt, ist nach den obigen Sollizitationsformeln ebenso begreiflich wie die erst erwähnte, da diese Formeln lehren, dass axial verschobene Urstoffe dieselben Zug- und Drehkräfte ergeben wie verdrehte Urstoffe. Durch Integration unserer, für magnetische Elemente gültigen Formeln, müssen sich für endliche Magneten unfehlbar dieselben Formeln ergeben, welche aus der Theorie zweier magnetischen Medien entspringen. Um Diess an dem einfachen Falle der Sollizitation eines Magnetstabes von der Länge a auf eine in seiner Axenrichtung in der Entfernung r vom nächsten Pole liegende kleine Magnetnadel zu zeigen, einem Falle, welcher in Wiedemann's Lehre vom Galvanismus etc. 2ter Band, §. 78, 79 und 152 die Grundlage der Theorie des Magnetismus bildet, so äussert, wenn x die Entfernung irgend eines Längenelementes ∂x des Stabes von der kleinen Nadel bezeichnet, dieses Element auf die Nadel das Drehungsmoment $\frac{C \partial x}{x^3}$, der ganze Stab also das Moment

$$\int_r^{r+a} \frac{C \partial x}{x^3} = C \left\{ \frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r+a)^2} \right\}$$

Diess ist die erwähnte Grundformel. Dieselbe lehrt, dass die mit

der dritten Potenz der Entfernung variirenden elementaren Drehungsmomente sich zu einem resultirenden Momente zusammensetzen, welches rechnungsmässig auch durch Zugkräfte erzeugt werden würde, welche lediglich zwischen den vier Polen der beiden Magneten angebracht wären und nach quadratischem Verhältnisse variirten. Diese Zugkräfte sind aber nur mathematische Fiktionen, keine Wirklichkeiten, d. h. sie stellen ein System von Resultanten der wirklichen Kräfte, nicht die wirklichen Kräfte selbst dar. Wären die Urstoffe, der herrschenden Ansicht gemäss, in der Richtung der magnetischen Axe verschoben; so lehrt die Figur 31 auf den ersten Blick, dass dann jede Magnetfaser von kleinem konstantem Querschnitte und gleichmässiger Intensität, welche Form sie auch haben möge, lediglich durch die an ihren beiden Polen liegenden Urstoffe anziehend oder abstossend nach umgekehrt quadratischem Verhältnisse auf die Pole einer jeden anderen ähnlichen Magnetfaser wirken würde, auch erkennt man leicht, dass unsere Sollizitationsformeln dasselbe Resultat liefern, wie die für eine solche fingirte Magnetfaser gültigen Formeln. Überhaupt wird ein Bündel von derartigen Magnetfasern einen Magneten bilden, dessen Magnetismus lediglich in dem Theile seiner Oberfläche, in welchem jene Fasern endigen, zu liegen scheint, und nur ein System von Fasern mit ungleichmässiger Intensität wird einen räumlich vertheilten Magnetismus zeigen.

Diese Übereinstimmung der nach der Theorie verschobener Medien aufgestellten Sollizitationsformeln mit der Wirklichkeit findet für endliche Magneten nicht bloss hinsichtlich der Drehungstendenzen, sondern auch hinsichtlich der Zugkräfte statt. Nach der Theorie der verschobenen Medien würden zwei gerade Magnetfasern von den Längen a und b , deren nächste Pole den Abstand r haben, die Zugkraft

$$C \left\{ \frac{1}{r^2} + \frac{1}{(r + a + b)^2} - \frac{1}{(r + a)^2} - \frac{1}{(r + b)^2} \right\}$$

auf einander ausüben. Nach unserer Theorie ist diese Zugkraft das zweifache Integral der Formel $c \frac{\partial x \partial x'}{x^4}$, also

$$\begin{aligned} c \int_r^{r+a} \partial x' \int_{x'}^{x'+b} \frac{\partial x}{x^4} &= -\frac{c}{3} \int_r^{r+a} \frac{\partial x'}{(x' + b)^3} + \frac{c}{3} \int_r^{r+a} \frac{\partial x'}{x'^3} \\ &= C \left\{ \frac{1}{r^2} + \frac{1}{(r + a + b)^2} - \frac{1}{(r + a)^2} - \frac{1}{(r + b)^2} \right\} \end{aligned}$$

Beide Resultate sind identisch. Die hierdurch bekundete Übereinstimmung der Sollizitationseffekte mit der Wirklichkeit ist die vornehmlichste Stütze für die Theorie zweier axial geschiedenen magnetischen Fluiden gewesen; dieselbe erweist sich jedoch nach Vorstehendem ebenso unzulänglich, wie alle übrigen in Nr. 1 und 15 besprochenen Gründe. Man müsste auch billig von dieser Theorie eine Antwort auf die Frage erwarten, wie sich das magnetische Element gegen ein galvanisches verhalte. Diese Antwort bleibt sie schuldig, und man überzeugt sich leicht, dass zur Erklärung der betreffenden Erscheinungen wiederum eine neue Hypothese geschaffen werden müsste.

21. Die elektrische, galvanische und magnetische Sollizitation, als eine modifizierte Gravitation.

Das galvanische Element hat sich als ein zusammengesetztes System von freien Urstoffen oder von elektrischen Elementen und das magnetische Element als ein zusammengesetztes System von galvanischen Elementen erwiesen: im Übrigen beruht die Eigenschaft des galvanischen Elementes nicht in jeder Hinsicht auf einer Summirung von frei-electrischen Kräften und die Eigenschaft des magnetischen Elementes nicht in jeder Hinsicht auf einer Summirung von galvanischen Kräften; vielmehr zeigt sowohl das freie elektrische, als auch das galvanische und das magnetische Element eine besondere Eigenart, welche ein jedes als eine besondere Qualitätsstufe des Stoffes erscheinen lässt. Unsere obige Theorie der Induktion und Sollizitation wurzelt in der Zurückführung der galvanischen und magnetischen Zustände auf ein System von primitiven elektrischen Zuständen: wenn man aber von der Idee ausgeht, dass die Urstoffe vermöge der ihnen innewohnenden Grundeigenschaft der kosmetischen Affinität eine bestimmte Anzahl eigenartiger Qualitätsstufen bilden, welche nach unserem Kardinalprinzip in einem grundgesetzlichen Zusammenhange stehen werden, ohne sich um die Entstehung dieser Qualitätsstufen aus einander zu kümmern; so lassen sich die Induktions- und Sollizitationsgesetze in folgenden einfachen Anschauungen vorstellen.

1) Der positive Urstoff, welcher sich in jedem Theilchen unausgesetzt zu expandiren strebt, und der negative Urstoff, welcher sich in jedem Theilchen unausgesetzt zu kontrahiren strebt, haben positive kosmetische Affinität zueinander, in Folge deren sie sich zu verbinden oder eine eigenartige Gemeinschaft zu bilden streben. Im freien Zustande äussern sie diese Affinität als ungesättigte Verbindungsbegierde; im Zustande der Verbindung ist diese Begierde befriedigt, die Urstoffe sind gebunden oder gesättigt. Gleichartige Urstoffe äussern gegeneinander negative Affinität oder Trennungstendenz. Die positive Affinität entgegengesetzter Urstoffe bedingt die dynamische Kraft der Attraktion, die negative Affinität gleichartiger Urstoffe bedingt die Repulsion (welche nicht mit der vorher erwähnten Kontraktions- und Expansions-tendenz zu verwechseln sind).

In dem gewöhnlichen ponderabelen Theilchen der Materie sind zwei gleiche entgegengesetzte Urstoffmengen zu einem eigenartigen materiellen Stoffe verbunden, also auch gegenseitig gebunden oder gesättigt; diese Materie ist, soweit in ihr entgegengesetzte Kräfte sich paralysiren, unwirksam oder neutral. Eine vollkommene Verbindung der Urstoffe und demnach eine vollkommene Paralysirung der Urkräfte findet übrigens in der ponderabelen Materie nicht statt und wir werden sehen, dass diese Unvollkommenheit der kosmetischen Verbindung, welche der Attraktion ein geringes Übergewicht über die Repulsion lässt, die Ursache der Gravitation ist.

Der freie Urstoff überträgt seine Verbindungsbegierde auf angrenzende ponderabele Theilchen durch Ausbreitung der Elektrizität oder Vertheilung einer elektrischen Intensität; diese Übertragung ist Leitung.

Derselbe pflanzt seine Verbindungsbegierde nach aussen aber auch durch Vermittlung des Äthers auf entfernte Objekte fort; dieser Prozess ist Induktion. Die Induktion ist im Gebiete der Elektrizität die Analogie zur Strahlung der Wärme, des Lichtes und des Schalles; die elektrische Leitung ist die Analogie zur Leitung der Wärme, des Lichtes und des Schalles, indem hierunter die Vertheilung einer Intensität über einen grösseren Raum zu verstehen ist.

Freier Urstoff setzt durch Einwirkung auf neutrale Materie, indem er das darin bestehende elektrostatische Gleichgewicht der beiden verbundenen Urstoffe aufhebt, gewisse Urstoffmengen in den Zustand der Freiheit. Zwischen diesen freien Urstoffen bildet sich, wenn die Vereinigung der ungleichnamigen Urstoffe durch den Widerstand von Isolatoren, d. h. von untrennbaren Medien verhindert wird, mit Hülfe der elektrischen Widerstände dieser Isolatoren und unter der Mitwirkung der ganzen Weltmaterie, wie sie eben vorhanden ist, ein elektrostatisches Gleichgewicht, durch welches die Urstoffe dynamisch gefesselt oder gebunden werden, ohne doch verbunden und in ihrer Verbindungsbegierde befriedigt zu sein. Da die im elektrostatischen Gleichgewichte befindlichen Urstoffe mit jedem Theilchen der Weltmaterie unter elektrischer Spannung im Gleichgewichte sind; so erzeugen sie in keinem Punkte der Welt eine weitere Scheidung von Urstoffen, solange die Weltmaterie ihre gegebene Anordnung bewahrt. Jede Änderung in der Weltmaterie hat aber eine Störung jenes Gleichgewichtes und damit einen elektrischen Prozess zur Folge.

2) Die Verbindungsbegierde ist eine Neigung oder eine Affinitätsspannung, welche sowohl dem positiven, wie auch dem negativen freien Urstoffe innewohnt; dieselbe ist dem einseitigen Urstoffe nach Weltgesetzen verliehen und nicht durch die Mitwirkung des entgegengesetzten Urstoffes bedingt. Aus der Zusammenwirkung mit dem entgegengesetzten Urstoffe bildet sich nun ein zweiter Spannungszustand, der galvanische. Derselbe ist die Analogie zur Druckkraft oder Bewegungstendenz im mechanischen Gebiete, er ist in der That elektrische Bewegungstendenz oder elektromotorische Kraft. Unter elektrischer Bewegung ist Strom zu verstehen, nämlich der auf Scheidung und Wiederverbindung beruhende Wechsel der Urstoffe zwischen Nachbarelementen, und zwar entspricht dieser galvanische Strom der mechanischen Fortschrittsbewegung. Ein Objekt, welches diese Tendenz besitzt, ist ein Elektromotor. Die Urstoffe, welche in galvanische Strömung versetzt, also periodisch entbunden und verbunden werden, befinden sich in der erwähnten galvanischen Spannung, welche, als der vom Galvanomotor fortgepflanzte Druck, in jedem Elemente des durchströmten Leiters den fortdauernden Antrieb zu dem bezeichneten Urstoffwechsel giebt. Chemischer Stoffwechsel des Ponderabelen ist aus leicht ersichtlichen Gründen ein vorzüglicher Erreger des Urstoffwechsels und daher der verbreitetste Galvanomotor.

Der aus dem Ponderabelen entbundene Urstoff ist wirklich frei, d. h. aus dem materiellen Verbande des Ponderabelen entlassen, sodass er sich verbreiten und unter der Attraktion und Repulsion anderen Urstoffes seinen Ort verlassen kann. Der galvanisch erregte, aus

positivem und negativem Urstoffe bestehende Stoff ist nicht aus diesem Verbande entlassen (die galvanische Spannung äussert sich eben zwischen zwei benachbarten ponderabelen Theilchen, indem sie deren Urstoffe auszutauschen strebt); er ist also unvollständig frei, er haftet am Ponderabelen, bildet eine Verkettung zwischen den ponderabelen Theilchen und verlässt dieselben unter der Sollizitation anderer galvanischer Stoffe nicht.

Wenn man den Zustand eines freien Urstofftheilchens als eine elektrische Spannung ansieht, ist dieselbe von wesentlich anderer Art als die eines galvanischen Elementes. Die elektrische Spannung eines kugelförmigen Theilchens a (Figur 69), ist ohne Frage eine nach allen Radien $a d$ gleiche Affektion. Dieselbe bildet eine innerliche Spannung, welche für den positiven Urstoff durch die vom Mittelpunkte hinweggekehrten Pfeile und für den negativen Urstoff durch einwärts gegen den Mittelpunkt gekehrte Pfeile versinnlicht werden kann. (Diese Spannung korrespondirt mit mechanischer Elastizitätsspannung). Jenes Theilchen sendet in der Richtung aa' Induktionsstrahlen aus, deren Spannung sich im umgekehrten Quadrate der Entfernung vermindert, weil jeder konische Ausschnitt bac seine Kraft über die in diesem Ausschnitte liegende Kugelfläche ausbreitet und diese Fläche sich in jenem Verhältnisse vergrössert. Ein ähnlicher Ausschnitt $b'a'c'$ eines anderen Urstofftheilchens a' wird von den Strahlen des Kegels $b'a'c'$ des ersten Theilchens getroffen und begegnet denselben mit der dem Ausschnitte $b'a'c'$ entsprechenden Kraft. Wenn m die Urstoffmenge des Theilchens a und m_1 die des Theilchens a' , ϱ_1 der Radius $a'b'$, r die Entfernung ab' ist und wenn in dem Ausschnitte $b'a'c'$ die Urstoffmenge αm_1 liegt; so liegt in dem Ausschnitte bac die Urstoffmenge $\frac{\varrho_1^2 \alpha m}{r^2}$; die Zusammenwirkung der beiden Ausschnittsmengen bedingt also eine Sollizitationskraft, welche das Produkt beider, d. h. gleich $\frac{\varrho_1^2 \alpha^2 m m_1}{r^2}$ ist. Nimmt man den Ausschnitt $b'a'c'$ so gross, dass er den ganzen Querschnitt fg umfasst; so ändert sich nur die Grösse α , die Sollizitation zweier Urstofftheilchen a und a' von bestimmtem Radius hat also den Werth $\kappa \frac{m m_1}{r^2}$, worin κ ein konstanter Koeffizient ist. Das Zeichen dieses Koeffizienten ist für ungleichartige Urstoffe a und a' , welche sich anziehen, positiv und für gleichartige, welche sich abstossen, negativ.

Das Spannungssystem eines galvanischen Elementes ist von ganz anderer Art. Stellt die um O beschriebene Kugel in Figur 70 die Generatrix eines solchen Elementes dar; so ist seine Spannung keine innerliche, sondern eine äusserliche, d. h. eine auf der Beziehung zu Nachbarelementen beruhende, (welche mit mechanischer Druckkraft korrespondirt). Dieselbe ist nicht nach allen Radien gleich; das Element hat eine Grundaxe Oa , welche in der Richtung des Stromes OA liegt. Alle in dieser Richtung liegenden Punkte des Theilchens haben dieselbe Spannung, welche wir als Grundspannung bezeichnen und durch die

Richtung des Pfeiles OA andeuten. Hiernach sagen wir, das galvanische Element habe sowohl in dem Radius Oa , als auch in dem entgegengesetzten Radius Oa_1 die durch die Pfeile bei a und a_1 angezeigte gleiche Grundspannung λ . Einem Radius Ob , welcher auf der Stromaxe normal steht, schreiben wir eine Spannung μ zu, welche zur Grundspannung λ in einem Neutralitätsverhältnisse steht. Die verschiedenen auf OA normal stehenden Radien haben Spannungen von gleicher Intensität, dieselben sind sämtlich neutral zu λ , unterscheiden sich aber untereinander durch eine Richtungsverschiedenheit dergestalt, dass die Spannung des Radius Oc , welcher auf der Ebene AOb normal steht, sowohl neutral gegen die Grundspannung λ , als auch neutral gegen die Spannung des Radius Ob ist, die Spannungen der drei rechtwinkligen Radien bilden also das System einer primären, sekundären und tertiären galvanischen Spannung.*)

Wenn für den sekundären Radius b eine bestimmte Richtung in der Ebene bcb_1c_1 angenommen ist, und die diesem Radius zukommende Spannung mit μ , die dem tertiären Radius Oc zukommende Spannung aber mit ν bezeichnet wird, wovon μ und ν gleiche Intensität haben; so schreiben wir einem Radius Oe , welcher sich unter dem Winkel $eOb = \beta$ gegen Ob neigt, eine Spannung zu, welche zur Grundspannung λ neutral ist, die Gesamtintensität wie μ und ν hat, sich aber aus einer sekundären und tertiären Komponente (nach Art der Glieder einer komplexen Grösse) zusammensetzt. Die sekundäre Komponente ist $\mu \cos \beta$ und die tertiäre $\mu \sin \beta$ oder auch, wenn man den Winkel $cOd = \gamma$ setzt, gleich $\nu \cos \gamma$.

In einem beliebigen Radius Od , dessen positive Richtung OO' mit der positiven Stromaxe Oa den Winkel α , mit einer sekundären Axe Ob den Winkel β und mit der zugehörigen tertiären Axe Oc den Winkel γ bildet, schreiben wir dem galvanischen Theilchen eine Spannung zu, deren primäre, sekundäre und tertiäre Komponente resp. $\lambda \cos \alpha$, $\mu \cos \beta$, $\nu \cos \gamma$ ist, worin λ die Grundspannung des in der Stromaxe liegenden Radius Oa , μ die neutrale Spannung eines beliebigen sekundären Radius Ob und ν die neutrale Spannung des zugehörigen tertiären Radius Oc darstellt. Die Intensitäten von μ und ν sind gleich, jedoch nicht gleich der primären λ . Diese drei Intensitäten sind der Stromstärke i proportional, sodass man $i\lambda$, $i\mu$, $i\nu$ statt λ , μ , ν setzen kann. In den Komponenten $i\lambda \cos \alpha$, $i\mu \cos \beta$, $i\nu \cos \gamma$ spielt der Koeffizient λ die Rolle einer reellen, der Koeffizient μ die einer imaginären, der Koeffizient ν die einer überimaginären Grösse. Die letzteren beiden können, da nur die reelle Axe durch die Stromrichtung gegeben ist, wie zwei zu Od neutrale Grössen gedacht werden, welche, indem die sekundäre und tertiäre Axe Ob und Oc eine beliebige Drehung um die primäre Axe OA machen, eine entsprechende Drehung um Od erleiden.

Liegen in einem galvanischen Elemente eine Anzahl Generatrizen

*) Die etwas verzeichnete Figur 70 ist nach dem Texte zu korrigiren.

hintereinander; so ist die Spannkraft in jeder Richtung natürlich auch dieser Anzahl oder der Länge s des Elementes proportional. Für das ganze Element repräsentiren also $is\lambda \cos \alpha$, $is\mu \cos \beta$, $is\nu \cos \gamma$ die drei neutralen Komponenten. Hierdurch ist dem galvanischen Elemente in jeder Richtung eine bestimmte, nicht erst von einem zweiten Elemente oder von einem besonderen Verhalten abhängige Spannung und Wirksamkeit beigelegt, also ein absoluter galvanischer Zustand konstituiert.

Liegt in der Richtung OO' ein zweites galvanisches Element mit der Stromaxe $O'A'$; so sei $O'a'$ der in der Richtung $O'A'$ liegende primäre Radius, Ob' ein normal darauf stehender sekundärer und Oc' ein auf beiden normal stehender tertiärer Radius und diese drei Radien neigen sich unter den Winkeln α' , β' , γ' gegen die positive Richtung $O'O''$ der Verbindungslinie OO' . Die galvanische Spannung des zweiten Elementes in dem Radius $O'd'$ hat die drei neutralen Komponenten $i's'\lambda' \cos \alpha'$, $i's'\mu' \cos \beta'$, $i's'\nu' \cos \gamma'$. Hierin ist $\lambda' = \lambda$ ein primärer Spannungskoeffizient und der sekundäre und tertiäre Koeffizient μ' , ν' , welche beide einen gleichen und dem von μ und ν gleichen absoluten Werth haben, können durch Drehung der Axen $O'b'$ und $O'c'$ um $O'd'$, also durch entsprechende Variation der Winkel β , γ mit den beiden Koeffizienten μ , ν ganz identisch gemacht werden.

Die beiden galvanischen Elemente O und O' sollizitiren sich in der Richtung der Linie OO' , also O mit dem Radius Od und O' mit dem Radius $O'd_1'$, welcher dem $O'd'$ direkt entgegengesetzt ist. Bei der Umkehrung des Radius $O'd'$ in $O'd_1'$ verändert λ sein Zeichen nicht, wohl aber μ und ν ; die drei Komponenten der im Radius $O'd_1'$ herrschenden Spannung sind also $i's'\lambda \cos \alpha'$, $-i's'\mu \cos \beta'$, $-i's'\nu \cos \gamma'$.

Wir stellen nunmehr den Satz auf, dass bei der galvanischen Sollizitation nur die in parallelen Linien liegenden Spannungskomponenten und zwar mit einer umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung variirenden und ihrem Produkte entsprechenden Kraft aufeinander wirken, und dass sich gleichgerichtete abstossen, entgegengesetzte anziehen und neutrale (normal aufeinander stehende) wie reelle und imaginäre Grössen sich nicht beeinflussen.

Hiernach treten die beiden Komponenten $is\lambda \cos \alpha$, $i's'\lambda \cos \alpha'$, ferner $is\mu \cos \beta$, $-i's'\mu \cos \beta'$, endlich $is\nu \cos \gamma$, $-i's'\nu \cos \gamma'$ miteinander in Wechselwirkung. Dieselbe besteht in der Zusammenwirkung jeder Wirkungseinheit der einen Grösse wie $is\lambda \cos \alpha$ mit jeder Einheit der anderen $i's'\lambda \cos \alpha'$. Die Wirkungseinheiten liegen aber nur in den Faktoren $is \cos \alpha$ und $i's' \cos \alpha'$, nicht in dem gemeinschaftlichen Faktor λ , welcher eine Intensität vertritt, während die übrigen Faktoren wirkende Mengen anzeigen. Daher treten die Faktoren λ , μ , ν einfach in die Produkte der zusammenwirkenden Grössen und es ergibt sich, da $\mu = \nu$ ist, die Resultante

$$\frac{ii'ss'}{r^2} [-\lambda \cos \alpha \cos \alpha' + \mu (\cos \beta \cos \beta' + \cos \gamma \cos \gamma')]]$$

oder wenn man den Neigungswinkel der beiden Stromaxen OA und $O'A'$ gleich δ setzt, weil $\cos \delta = \cos \alpha \cos \alpha' + \cos \beta \cos \beta' + \cos \gamma \cos \gamma'$ ist,

$$\frac{i i' s s' \lambda}{r^2} \left[\frac{\mu}{\lambda} \cos \delta - \left(1 + \frac{\mu}{\lambda} \right) \cos \alpha \cos \alpha' \right]$$

Über das Verhältniss der absoluten Werthe der beiden Koeffizienten λ und μ haben wir noch keine Ansicht ausgesprochen. Indem wir jetzt annehmen, dass ein galvanisches Element ein in seiner Axe liegendes gleichgerichtetes Element nur halb so stark sollizitire, als ein paralleles Element, welches ihm normal zu seiner Axe gegenübersteht, dass also $\mu = 2\lambda$ sei, wird der Ausdruck für die Sollizitation

$$\frac{\kappa i i' s s'}{r^2} \left(\cos \delta - \frac{3}{2} \cos \alpha \cos \alpha' \right)$$

entsprechend der Ampèreschen Formel.

3) Indem wir uns jetzt zur magnetischen Sollizitation wenden, schreiben wir dem magnetischen Elemente prinzipiell Drehungskraft zu, welche sich durch Induktionsstrahlen im Äther fortpflanzt und das getroffene Ponderabele, dessen Urstoffe, wie im Eisen, verdrehbar sind, zu drehen strebt.

Könnte man annehmen, dass ein kugelförmiges Element in jedem Strahlenkegel von gegebener Winkelweite eine bestimmte Drehkraft ausendete, welche sich aber mit wachsender Entfernung r nicht über die mit dem Quadrate von r wachsende Basis des Strahlenkegels, sondern über den mit dem Kubus von r wachsenden Raum einer die Basis des Kegels als grössten Durchschnitt umschliessenden Kugel verbreitete; so würde die Materie in der Entfernung r mit einer Drehkraft pro Volumeinheit affizirt werden, deren Moment umgekehrt wie r^3 variirte. Gleichviel, ob diese Anschauung sich streng begründen lässt, thatsächlich variirt das magnetische Sollizitationsmoment in dem gedachten Verhältnisse.

Nimmt man die magnetische Axe eines Elementes s zur Grundaxe $O\xi$ und zwei rechtwinklig darauf stehende Linien zu den Axen $O\eta$ und $O\zeta$ an; so äussert dieses Element mit dem in seiner Axe $O\xi$ liegenden Radius keine Drehkraft um die Axe $O\xi$, aber eine Drehkraft λ um die Axe $O\eta$ und eine gleich starke Drehkraft um die Axe $O\zeta$. Die erste Kraft dreht in der Ebene $\zeta\xi$, die zweite Kraft in der Ebene $\xi\eta$, während die Drehkraft in der Ebene $\eta\zeta$ gleich null ist. In dieser Eigenschaft des zu $O\xi$ parallelen Radius erblicken wir das primäre Drehungsvermögen des magnetischen Elementes. Die Drehkraft auf ein zweites Element s' , welches in der Richtung $O\xi$ dieses sollizitirenden Radius liegt, kann nur wirksam werden, wenn dieses Element eine in der Drehungsebene liegende und auf der Sollizitationslinie normal stehende Dimension hat; demnach dreht das Element s mit dem axialen Radius ein in der Axe $O\xi$ liegendes Element s' um diejenige Axenrichtung, welche auf den Richtungen der magnetischen Axen beider Elemente normal steht, oder in einer Ebene, welche die Richtungen dieser beiden Axen enthält.

In der Richtung des auf der magnetischen Axe normal stehenden

Radius $O\eta$ äussert das Element s auf ein zweites Element s' eine Drehkraft, welche ganz dem eben ausgesprochenen Gesetze folgt, welche also ein paralleles Element gar nicht affiziert (indem zwei parallele oder identische Richtungen keine Ebene bestimmen und die auf ihnen normal stehende Axe keine bestimmte Richtung hat), ein zu $O\xi$ paralleles Element in der Ebene $\xi\eta$ um $O\zeta$ und ein zu $O\zeta$ paralleles Element mit gleicher Intensität in der Ebene $\eta\zeta$ um $O\xi$ dreht. Diese Eigenschaft des Radius $O\eta$ bildet das sekundäre Drehungsvermögen μ des magnetischen Elementes. Die ganz analoge und mit gleicher Intensität auftretende Eigenschaft des Radius $O\zeta$, welcher um die Axe $O\eta$ und $O\xi$ dreht, ist das tertiäre Drehungsvermögen ν .

Die Drehkraft eines in der magnetischen Axe liegenden Radius hat doppelt so viel Intensität, als die eines auf der magnetischen Axe normal stehenden Radius.

Was die Drehungsrichtung in einer hierdurch bestimmten Ebene betrifft; so ist dieselbe stets so, dass das sollizitierte Element dadurch derjenigen Parallelstellung mit dem sollizitirenden Elemente entgegengeführt wird, in welcher zwei entgegengesetzte Pole den kürzestmöglichen Abstand haben, oder derjenigen Stellung, welche durch die Anziehung der ungleichnamigen und die Abstossung der gleichnamigen Pole eingeleitet wird (die gegenseitige Sollizitation zweier beweglichen Elemente führt dieselben stets in die Richtung der Verbindungslinie). Erwägt man nun, dass in dem Koordinatensysteme die Drehungen von ξ nach η , von η nach ζ und von ζ nach ξ als die positiven gelten; so tragen die beiden Drehungskräfte, welche der Radius $O\xi$ ausübt, sowie auch die beiden, welche der Radius $O\eta$ oder der Radius $O\zeta$ ausübt, entgegengesetzte Zeichen.

Es seien jetzt OX , OY , OZ drei gegebene feste Koordinatenaxen, wovon die OX die Verbindungslinie zwischen dem sollizitirenden magnetischen Elemente c und dem sollizitirten Elemente c' darstelle und es seien mit c_1 , c_2 , c_3 die drei zu diesen Axen parallelen Hauptstellungen des sollizitirenden Elementes und mit c_1' , c_2' , c_3' die drei Hauptstellungen des sollizitirten Elementes bezeichnet. Kombiniert man jede der ersten mit jeder der letzten Hauptstellungen; so kommen 9 Fälle in Betracht, für welche man die Drehungsmomente Q_1 , Q_2 , Q_3 resp. um die Richtungen OX , OY , OZ erhält, indem man das Produkt $i i' s s'$ mit folgenden Koeffizienten multipliziert.

S t e l l u n g		Koeffizient für		
graphisch	symbolisch	Q_1	Q_2	Q_3
— —	$c_1 c_1'$	0	0	0
—	$c_1 c_2'$	0	0	— 2
— .	$c_1 c_3'$	0	2	0
—	$c_2 c_1'$	0	0	— 1
	$c_2 c_2'$	0	0	0
.	$c_2 c_3'$	1	0	0
. —	$c_3 c_1'$	0	1	0
.	$c_3 c_2'$	— 1	0	0
. .	$c_3 c_3'$	0	0	0

Einem beliebigen Radius des magnetischen Elementes, welcher sich gegen die Axen OX , OY , OZ unter den Winkeln α , β , γ neigt, schreiben wir nun das primäre Drehungsvermögen $\lambda \cos \alpha$, das sekundäre Drehungsvermögen $\mu \cos \beta$ und das tertiäre Drehungsvermögen $\nu \cos \gamma$ zu. Liegt in der Richtung dieses Radius in der Entfernung r ein zweites magnetisches Element s' , dessen Axe mit OX , OY , OZ die Winkel α' , β' , γ' bildet; so kommt dem in der Verbindungslinie liegenden Radius des zweiten Elementes das primäre Vermögen $\lambda \cos \alpha'$, das sekundäre Vermögen $\mu \cos \beta'$ und das tertiäre Vermögen $\nu \cos \gamma'$ zu. Bei der Sollizitation der beiden Elemente s und s' kombinirt sich jedes der ersten drei Vermögen mit jedem der letzten drei. Von den 9 Kombinationen nehmen drei den Nullwerth an und wenn von den übrigen 6 immer diejenigen zwei zusammengefasst werden, welche eine Drehung um dieselbe Axe erzeugen; so erhält man, da nach dem absoluten Betrage $\mu = \nu = \frac{1}{2} \lambda$ ist, nachdem man die Resultate mit $\frac{i i' s s'}{r^3}$ multipliziert hat, für die drei Drehungsmomente Q_1 , Q_2 , Q_3 genau die früher aufgestellten Formeln.

4) Ganz nach derselben Regel, welche wir im Vorstehenden auf die Zugkraft zweier galvanischen Elemente und auf die Drehkraft zweier magnetischen Elemente angewandt haben, indem wir aus einer primären oder axialen und aus einer sekundären und tertiären oder aus zwei unter sich rechtwinkligen und gleichen lateralen Spannungen eines Elementes die Spannung desselben für jede beliebige Wirkungsrichtung ableiteten und sodann aus den in die Verbindungslinie fallenden Spannungen zweier Elemente ihre gegenseitige Sollizitation bestimmten, lässt sich auch die Zugkraft zweier magnetischen Elemente, sowie die Zugkraft eines magnetischen Elementes gegen ein galvanisches und endlich die Zug- und Drehkraft eines galvanischen Elementes gegen ein magnetisches bestimmen.

Wir haben die Koeffizienten für die aus je drei Hauptstellungen sich ergebenden neun Hauptfälle in einer Tabelle zusammengestellt, worin mit s ein galvanisches, mit c ein magnetisches Element bezeichnet und das sollizitirte Element akzentuirt ist.

	P_1	P_2	P_3	Q_1	Q_2	Q_3
$s_1 s_1'$	— 1	0	0	0	0	0
$s_1 s_2'$	0	0	0	0	0	0
$s_1 s_3'$	0	0	0	0	0	0
$s_2 s_1'$	0	0	0	0	0	0
$s_2 s_2'$	2	0	0	0	0	0
$s_2 s_3'$	0	0	0	0	0	0
$s_3 s_1'$	0	0	0	0	0	0
$s_3 s_2'$	0	0	0	0	0	0
$s_3 s_3'$	2	0	0	0	0	0
$s_1 c_1'$	0	0	0	0	0	0
$s_1 c_2'$	0	0	— 1	0	— 1	0
$s_1 c_3'$	0	1	0	0	0	— 1
$s_2 c_1'$	0	0	— 2	0	— 2	0
$s_2 c_2'$	0	0	0	0	0	0
$s_2 c_3'$	— 1	0	0	0	0	0
$s_3 c_1'$	0	2	0	0	0	— 2
$s_3 c_2'$	1	0	0	0	0	0
$s_3 c_3'$	0	0	0	0	0	0
$c_1 s_1'$	0	0	0	0	0	0
$c_1 s_2'$	0	0	— 2	0	0	0
$c_1 s_3'$	0	2	0	0	0	0
$c_2 s_1'$	0	0	— 1	0	0	0
$c_2 s_2'$	0	0	0	0	0	0
$c_2 s_3'$	1	0	0	0	0	0
$c_3 s_1'$	0	1	0	0	0	0
$c_3 s_2'$	— 1	0	0	0	0	0
$c_3 s_3'$	0	0	0	0	0	0
$c_1 c_1'$	2	0	0	0	0	0
$c_1 c_2'$	0	— 1	0	0	0	— 2
$c_1 c_3'$	0	0	— 1	0	2	0
$c_2 c_1'$	0	— 1	0	0	0	— 1
$c_2 c_2'$	— 1	0	0	0	0	0
$c_2 c_3'$	0	0	0	1	0	0
$c_3 c_1'$	0	0	— 1	0	1	0
$c_3 c_2'$	0	0	0	— 1	0	0
$c_3 c_3'$	— 1	0	0	0	0	0

Aus dieser Tabelle ergibt sich die Formel für eine zu OX , OY oder OZ parallele Zugkraft P_1 , P_2 , P_3 oder für eine um OX , OY oder OZ wirkende Drehkraft Q_1 , Q_2 , Q_3 , indem man die in der betreffenden Vertikalspalte stehenden Zahlen mit den davorstehenden Produkten, welche zwei der Faktoren $s_1, s_2, s_3, c_1, c_2, c_3, s_1', s_2', s_3', c_1', c_2', c_3'$ enthalten, multipliziert und die erhaltenen Glieder addirt. Der Gesamtausdruck, worin s_1, s_2, s_3 die Projektionen der Länge s des galvanischen Elementes und c_1, c_2, c_3 die Projektionen der Länge des magnetischen Elementes bedeuten, ist mit der Intensität und der Grösse beider Elemente zu multiplizieren und durch eine Potenz von r zu dividiren, welche für die Zugkräfte P zweier galvanischen Elemente die zweite, eines galvanischen und magnetischen Elementes die dritte und zweier magnetischen Elemente die vierte ist, während sie für die Drehkräfte Q eines galvanischen und magnetischen Elementes die zweite und zweier magnetischen Elemente die dritte ist.

Beispielsweise ergeben sich für die Zugkräfte, womit ein galvanisches Element auf ein magnetisches wirkt, die Formeln

$$P_1 = \frac{A}{r^3} (-s_2 c_3' + s_3 c_2')$$

$$P_2 = \frac{A}{r^3} (s_1 c_3' + 2 s_3 c_1')$$

$$P_3 = -\frac{A}{r^3} (s_1 c_2' + 2 s_2 c_1')$$

und für die Drehkräfte

$$Q_1 = 0$$

$$Q_2 = -\frac{B}{r^2} (s_1 c_2' + 2 s_2 c_1')$$

$$Q_3 = -\frac{B}{r^2} (s_1 c_3' + 2 s_3 c_1')$$

Die Formeln für P_1, P_2, P_3 stimmen mit denen auf S. 100 und 101 genau überein, wenn man dort die Akzente von den Grössen s auf die Grössen c überträgt (weil jetzt das magnetische Element das sollizitirte sein soll). Die Formeln für Q_1, Q_2, Q_3 stimmen mit denen auf S. 98 überein, wenn man beachtet, dass dort die Axe OY so angenommen war, dass $s_3' = 0$ war und dass auch hier die Akzente zu vertauschen sind.

Es ist beachtenswerth, dass die Sollizitation zweier Elemente in den Hauptstellungen, mögen es zwei galvanische, oder zwei magnetische, oder ein galvanisches und ein magnetisches sein, und mag es sich um Zug-, Schub- oder Drehkräfte handeln, nur durch die drei Koeffizienten 0, 1, 2 bestimmt ist. Diese Wahrheit, sowie das Gesetz der Komposition dieser Kräfte zu der einer beliebigen Schrägstellung angehörigen Resultante und endlich die Abhängigkeit des Sollizitationseffektes von der zweiten, dritten oder vierten Potenz der Entfernung sind in der gegenwärtigen Nummer wie Thatsachen behandelt. Die Begründung derselben durch einfache und allgemeine Grundgesetze, ohne Bezugnahme auf faktische Erscheinungen ist in Nr. 17 bis 20 enthalten.

5) Die elektrische Spannung eines freien Urstoffelementes ist von ganz anderer Natur, als die galvanische und die magnetische Spannung, vermöge welcher zwei nicht entbundene, sondern verschobene Urstofftheilchen eine translatorische oder rotatorische Bewegungstendenz gegeneinander äussern. Demzufolge sollizitirt freie Elektrizität nur freie Elektrizität, nicht aber ein galvanisches oder magnetisches Element. Die Zerlegung eines solchen Elementes in Urstoffe, welche eine Wechselwirkung aufeinander ausüben, soll nicht eine Auflösung in freie Urstoffe, sondern nur eine Auflösung in entgegengesetzte Spannungskomponenten bedeuten.

6) In §. 314 bis 318 der „Naturgesetze“ habe ich die Gravitation der neutralen Materie als eine Sollizitation der im Ponderabelen enthaltenen Urstoffe definirt, welche unmittelbar den das Ponderabele durchdringenden Äther ergreift, in dem Äther von Punkt zu Punkt als ein Induktions- oder Gravitationsstrahl fortgepflanzt wird und jedes von diesem Strahle getroffene ponderabele Theilchen affizirt, nachdem in §. 314 gezeigt war, warum diese Sollizitation in einer Anziehung bestehe. Diesen Grund der Anziehung erblicke ich in der Expansions-tendenz des positiven und der Kontraktionstendenz des negativen Urstoffes und komme jetzt mit folgenden Bemerkungen nochmals darauf zurück.

Vermöge der kosmetischen Affinität verbindet sich eine gegebene Menge positiver und negativer Urstoff zu ponderabeler Materie, in welcher sich die entgegengesetzten Triebe beider Urstoffe durch gegenseitige Bindung neutralisiren oder im Gleichgewichte halten. Dieses Gleichgewicht ist nur möglich, wenn das Volum, welches der expansibele positive und der kontraktile negative Urstoff einnimmt, eine ganz bestimmte, nämlich diejenige Grösse annimmt, bei welcher die Expansions-tendenz des einen der Kontraktionstendenz des andern genau gleich ist. Dieses Volum ist das natürliche Volum des ponderabelen Körpers, in welchem derselbe keine mechanische Spannung zwischen seinen Theilchen hat, weil in jedem Theilchen das Gleichgewicht der Urstoffe besteht. Eine Veränderung dieses Volums erfordert diejenige mechanische Kraft, welche zur Equilibrirung der durch das neue Volum bedingten Expansions- und Kontraktionstendenz der Urstoffe dient; dieselbe stellt sich als Elastizität dar und befolgt die in §. 333 ff. entwickelten und in dem ersten Supplemente zum zweiten Theile weiter verfolgten Gesetze.

Wenngleich nun in jeder Generatrix des Ponderabelen Gleichgewicht zwischen der Expansionstendenz des positiven und der Kontraktionstendenz des negativen Urstoffes besteht; so kann doch nicht behauptet werden, dass sich beide Urstoffe ganz gleichförmig über den Raum der Generatrix vertheilen: es ist vielmehr als gewiss anzusehen, dass der positive Urstoff sich vom Mittelpunkte gegen die Peripherie hin, der negative Urstoff aber von der Peripherie gegen den Mittelpunkt hin verdichten werde, dass also in jedem konischen Ausschnitt bOc einer Generatrix O (Figur 71) der Schwerpunkt des positiven Urstoffes vom Mittelpunkte O weiter abstehe, als der Schwerpunkt des negativen Urstoffes, sodass der positive Urstoff der ganzen Generatrix in einer

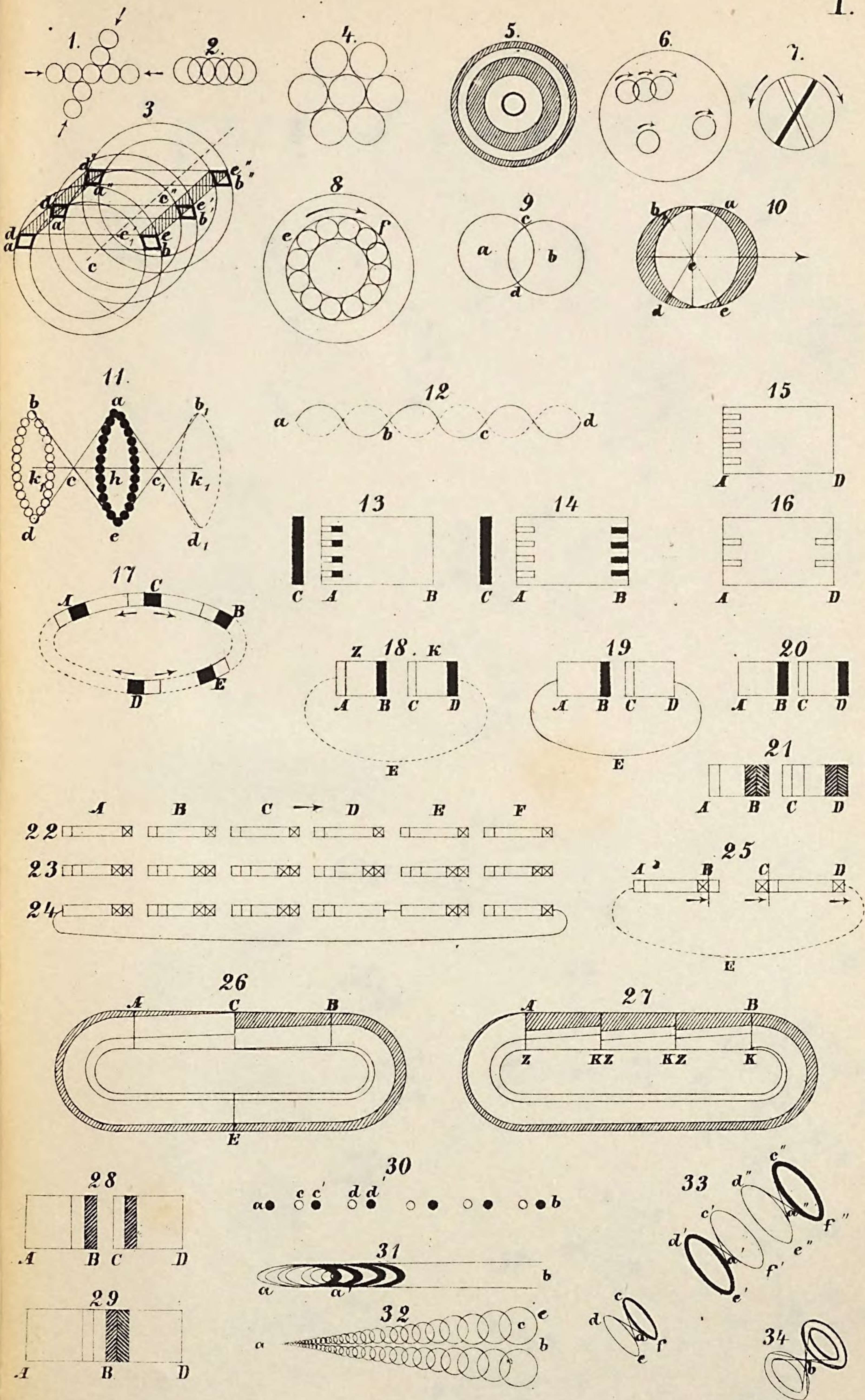
grösseren Kugelfläche und der negative in einer kleineren Kugelfläche konzentriert gedacht werden kann.

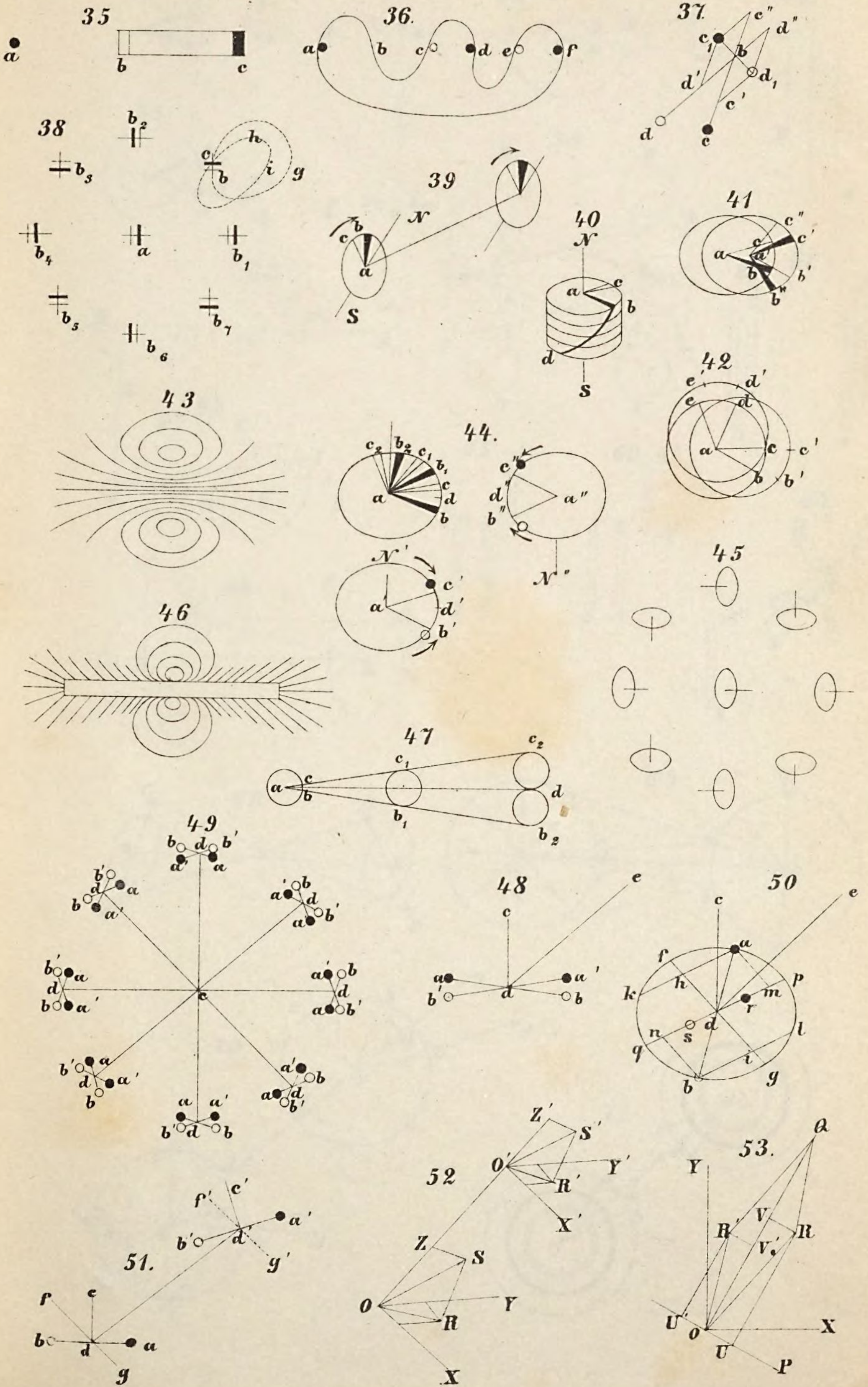
Diese Verschiebung der Schwerpunkte der Urstoffe in dem Radius Oa bedingt eine galvanische Spannung in der Richtung des Radius, wie sie ein vom Mittelpunkte nach aussen gerichteter positiver Strom erzeugen würde. Mit dieser Spannung affizirt die Generatrix den Äther in allen von O ausgehenden Richtungen oder sie erzeugt darin Spannungslinien, deren Intensität pro Flächeneinheit sich im umgekehrten Quadrate der Entfernung vermindert. Das Nämliche findet in jeder zweiten Generatrix O' eines ponderabelen Körpers statt. Beide Generatrizen sollizitiren sich also in der Verbindungslinie OO' mit Kräften, welche zwei entgegengesetzt gerichtete galvanische Elemente aufeinander ausüben. Diese Sollizitation ist nach Nr. 17 weder eine Abstossung, noch ein Seitenschub, noch eine Drehung, sondern eine Anziehung, welche sich als Gravitation geltend macht.

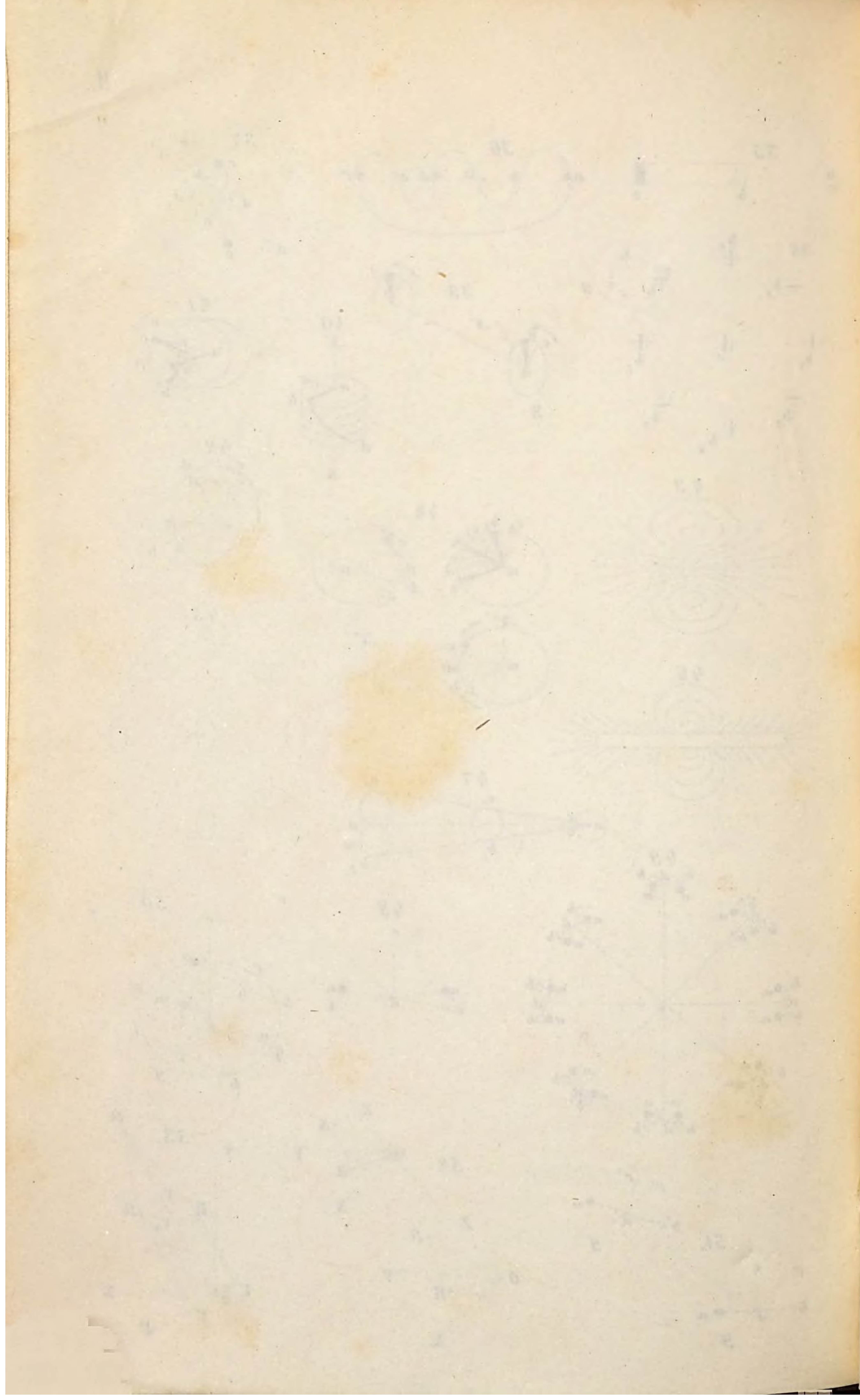
Da alle Generatrizen des Ponderabelen nach unserer Theorie gleiche Masse enthalten, die Sollizitation zweier in derselben Richtung wirkenden galvanischen Elemente nach Nr. 17 aber lediglich von ihren Massen und den beiden Koeffizienten β und β' , welche die Zerstreuung der Induktionsstrahlen der beiden Elemente messen, abhängt; so wird die Gravitation stets der Masse der gravitirenden Körper proportional und von ihren Volumveränderungen ganz unabhängig bleiben, falls diese Koeffizienten für alle Generatrizen einen konstanten Werth $\beta = \beta'$ haben, was wir nunmehr anzunehmen uns genöthigt sehen.

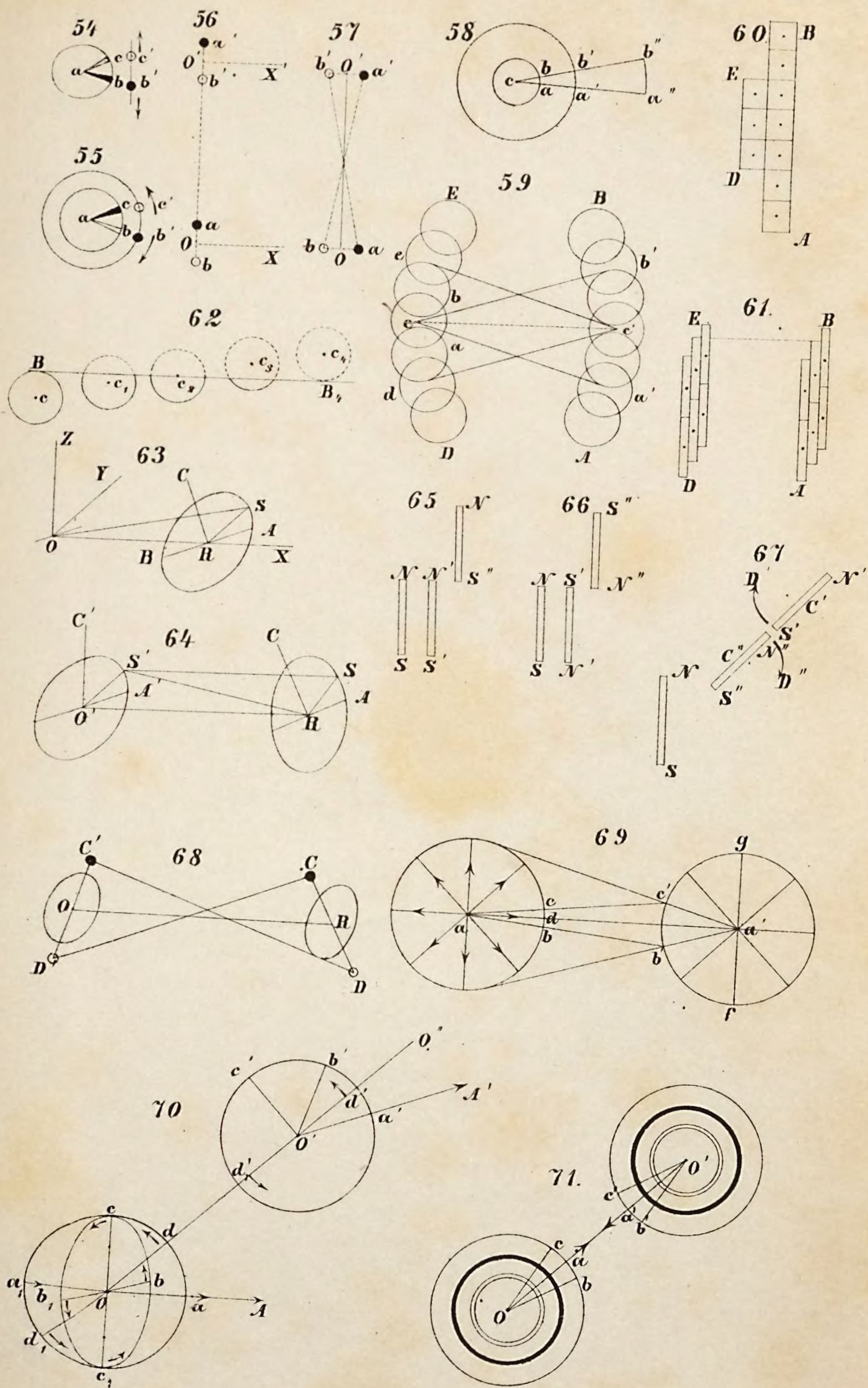
Hiermit glaube ich, verschiedene Lücken in der Theorie der Erscheinungen ausgefüllt und damit das in den „Naturgesetzen“ entwickelte Einheitsprinzip, welches die Welt beherrscht, fester begründet zu haben.

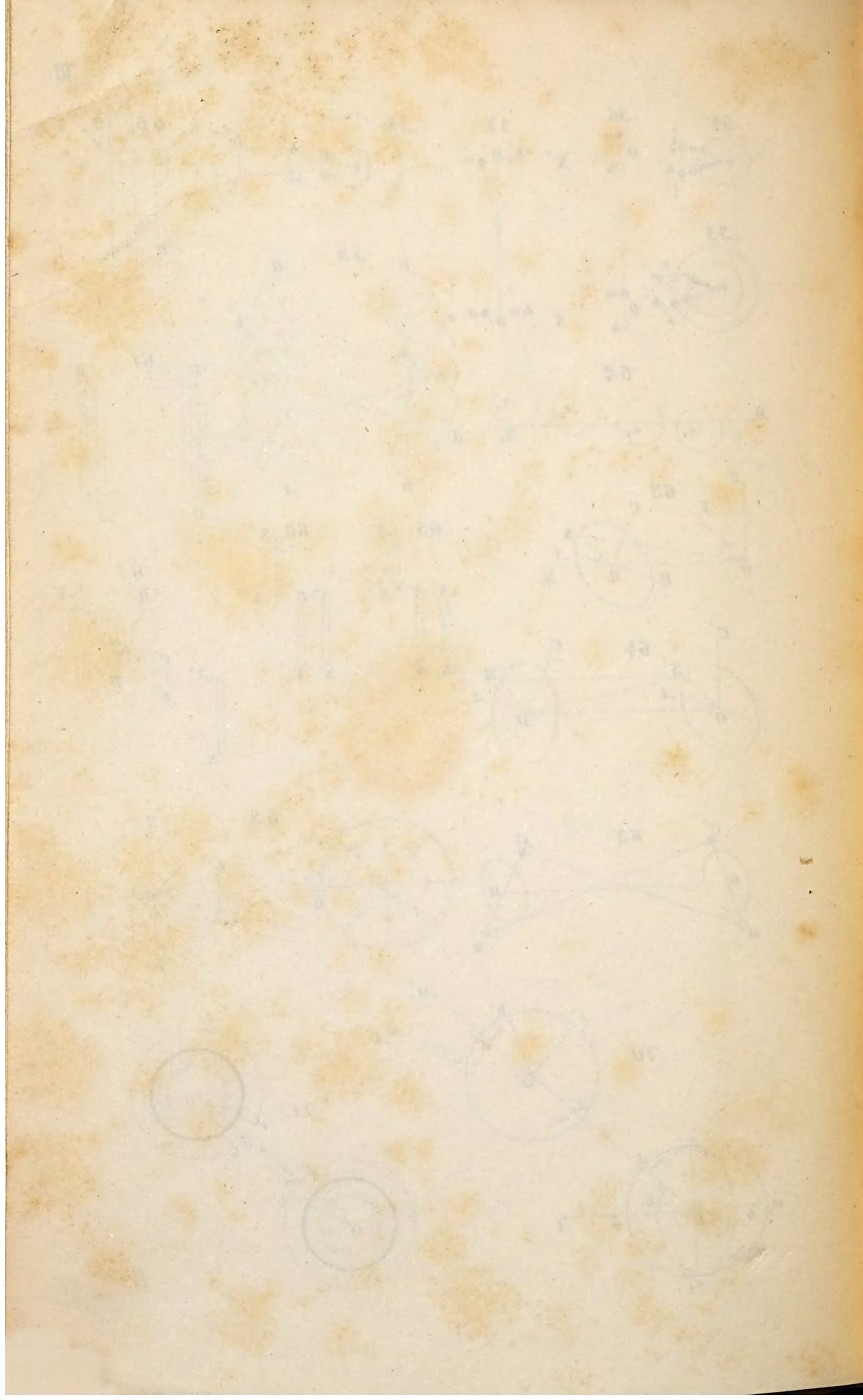






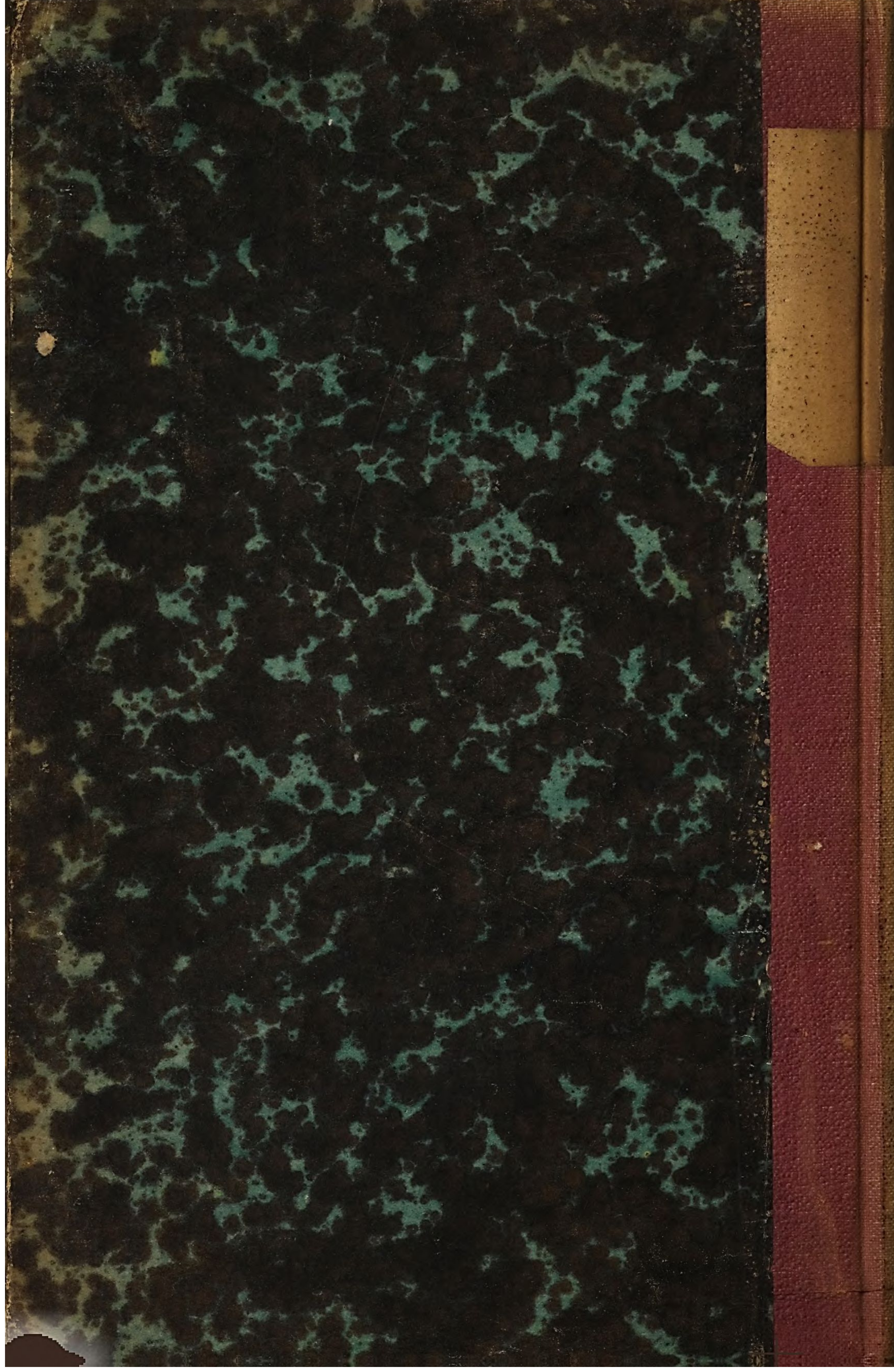






Von dem Verfasser sind folgende Werke erschienen:

- Die mechanischen Prinzipien der Ingenieurkunst und Architektur.**
2 Bde. Auf Grundlage des englischen Werkes von Moseley.
- Die Prinzipien der Hydrostatik und Hydraulik.** 2 Bde., enthaltend die Statik und Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper.
- Die Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken.**
- Die Theorie der Festigkeit gegen das Zerknicken.**
- Die Elastizitätsverhältnisse der Röhren, welche einem hydrostatischen Drucke ausgesetzt sind.**
- Über Gitter- und Bogenträger.**
- Über die Festigkeit der Gefässwände, insbesondere über die Haltbarkeit der Dampfkessel.**
- Imaginäre Arbeit, eine Wirkung der Zentrifugal- und Gyralkraft, mit Anwendungen auf die Theorie des Kreisels, des rollenden Rades, des Polytropes, des rotirenden Geschosses und des Tischrückens.**
- Die Ursachen der Dampfkesselexplosionen und das Dampfkesselthermometer als Sicherheitsapparat.**
- Über das Verhältniss der Arithmetik zur Geometrie, insbesondere über die geometrische Bedeutung der imaginären Zahlen.**
- Der Situationskalkul, eine arithmetische Darstellung der Geometrie auf Grund abstrakter Auffassung der räumlichen Grössen.**
- Die unbestimmte Analytik, enthaltend die diophantischen Gleichungen des ersten und zweiten Grades, die endlichen und die periodischen Kettenbrüche, die Theorie der Ungleichheiten, die Kongruenz der Zahlen, die Zahlentheorie u. s. w. in reellen und komplexen Zahlen.**
- Die Auflösung der algebraischen und transzendenten Gleichungen mit einer und mehreren Unbekannten in reellen und komplexen Zahlen.**
- Methodus nova aequationem indeterminatam secundi gradus duas incognitas implicantem per numeros integros solvendi.**
Dissertatio inauguralis.
- Die Umbildung der deutschen Rechtschreibung mit Bemerkungen über die Umgestaltung der deutschen Maassordnungen.**
- Körper und Geist.** Betrachtungen über den menschlichen Organismus und sein Verhältniss zur Welt.
- Die physiologische Optik.** Eine Darstellung der Gesetze des Auges. 2 Bde.
- Die Gesetze des räumlichen Sehens.** Supplement der physiologischen Optik.
- Die Theorie der Augenfehler und der Brille.**
- Sterblichkeit und Versicherungswesen.**
- Betheiligung am Gewinne und Nationalversorgung.**
- Die polydimensionalen Grössen und die vollkommenen Primzahlen.**
- Die Naturgesetze.** 4 Theile, enthaltend die Theorie der Erscheinung, der Anschauung, der Erkenntniss und des Bewusstseins oder die physischen, die mathematischen, die logischen und die philosophischen Gesetze, mit dem die Wärme und Elastizität behandelnden ersten Supplemente und dem vorliegenden, die Elektrizität behandelnden zweiten Supplemente.



Scheffler, Hermann,

Die Naturgesetze und ihr Zusammenhang mit den Prinzipien der abstrakten
Wissenschaften für Naturforscher, Mathematiker, Logiker, Philosophen und
alle mathematisch gebildeten Denker
Bd.: 2, Suppl. 2

Leipzig 1882

Phys.g. 408 t-2, Suppl. 2

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11681907-7